

**Neurographische Untersuchungen zur Frage  
physiologischer Seitenunterschiede  
am nervus ulnaris**

**Hans-Ernst Lodermeier**

**1977**







Aus der Neurologischen Klinik der Universität München

Direktor: Prof. Dr. A. Schrader

Neurographische Untersuchungen zur Frage

physiologischer Seitenunterschiede

am nervus ulnaris

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Hans-Ernst Lodermeier

aus

München

1977

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität  
München

Berichterstatter: OA Dr. A. Ross

Mitberichterstatter: Prof. Dr. A. Schrader

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 8. März 1977



## INHALTSVERZEICHNIS

|                          |    |
|--------------------------|----|
| I. Einleitung            | 1  |
| II. Material und Methode | 8  |
| III. Ergebnisse          | 14 |
| IV. Diskussion           | 30 |
| V. Zusammenfassung       | 46 |
| VI. Literatur            | 47 |
| VII. Anhang              |    |



## I. EINLEITUNG

Die Elektroneurographie hat sich seit der grundlegenden Arbeit von Hodes, Larrabee und German (1948) zu einem Verfahren entwickelt, das alle Voraussetzungen einer klinisch verwertbaren Methode besitzt: Bei geringer Belastung für den Patienten kann der Untersucher mit verhältnismäßig geringem technischen und zeitlichen Aufwand zu rasch verwertbaren Ergebnissen kommen.

Die Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit kann auf eine mehr als 100-jährige Tradition zurückblicken. Bereits in den Jahren 1867 und 1870 schlugen v. Helmholtz und Baxt eine Methode vor, die die Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit auf indirektem Weg ermöglichte, da sich elektro-neurographische Untersuchungen am peripheren Nerven selbst, wie Eichler sie 1937 beschrieb, äußerst schwierig gestalten. Sie nützten dabei die günstige Lage der langen Arm- und Beinnerven, die in ihrem Verlauf teilweise bis knapp unter die Hautoberfläche treten und somit einer oberflächlichen Reizung besonders zugänglich sind. Dabei wurde der Nerv an zwei möglichst entfernt liegenden Punkten gereizt und die Reizantwort

durch mechanische Aufzeichnung der Muskelkontraktion registriert. Aus der Differenz der Leitzeiten und dem Abstand der beiden Reizpunkte errechneten sie die Nervenleitgeschwindigkeit. Obwohl diese Methode im Prinzip bis heute beibehalten wurde, konnte das Verfahren erst durch die oszillographische Aufzeichnung der Muskelantwort, wie sie in der obenerwähnten Arbeit von Hodes, Larrabee und German beschrieben wurde, zur routinediagnostischen Untersuchung verwertet werden. Klinisches Interesse gewann diese Methode, als Harvey und Mashland 1941 die elektromyographische Ableitung nach Nervenreizung als diagnostisches Hilfsmittel zur Prüfung der neuromuskulären Übertragung einführten, während Hodes die Methode zur Diagnostik peripherer Nervenschädigungen und zur Verlaufskontrolle der Nervenregeneration nach Durchtrennung beschrieb. Hodes und Mitarbeiter verwendeten für ihre Studien am Menschen oberflächliche Ableitungen, die oszillographisch aufgezeichnet wurden. Als Orientierungspunkte zur Bestimmung der Latenzzeit wählten sie einerseits den Reizartefakt und andererseits den Beginn des Muskelaktionspotentials, d.h. den Punkt, wo sich

der Kathodenstrahl von der Grundlinie abhebt. Dieses Intervall stellt die Leitzeit der dicksten und somit schnellstleitenden motorischen Nervenfasern dar, einschließlich der Leitzeit im markcheidenlosen terminalen Abschnitt, der Verzögerung bei der neuromuskulären Übertragung und einer weiteren Verzögerung im Muskel selbst (Thomas 1960). Vorausgesetzt, beide Reize sind supramaximal, ergeben die Differenzen der Latenzzeiten die Leitzeit der schnellstleitenden Fasern zwischen beiden Reizpunkten. Sie zeigten damit ein Verfahren, das im Prinzip von allen späteren Untersuchern übernommen wurde. Da in unserem Falle die Nervenleitgeschwindigkeit unter Verwendung einer Nadelelektrode gemessen wurde, hat man den zusätzlichen Vorteil, im gleichen Untersuchungsgang einen Überblick über die elektrischen Verhältnisse im ruhenden und willkürlich innervierten Muskel gewinnen zu können (Thomas, Sears und Gilliatt 1959; Poloni und Sala 1962; Dobbelsstein, Struppler 1963; Visser 1964).

Betrachtet man die Ergebnisse früherer Autoren, die die Nervenleitgeschwindigkeit am n. ulnaris bei gesunden Versuchspersonen untersuchten, so findet

man hinsichtlich der gefundenen Mittelwerte ein recht einheitliches Bild ( siehe Tabelle 2 ). Aus dieser Tabelle ist aber auch die große Schwankungsbreite der Einzelergebnisse, die bei einigen Untersuchern (Redford 1958; Corbat 1961) bis zu 33m/sec streuen, zu ersehen. Durch diese Streubreite wird natürlich die Abgrenzung der pathologischen Werte von Normalwerten in Grenzfällen äußerst schwierig. Man versuchte daher Parameter zu finden, die die motorische Nervenleitgeschwindigkeit bzw. die Registrierung der Muskelantwort genauer erfassen, um den großen Schwankungsbereich einengen zu können.

Wagman und Lesse wiesen 1952 eine Altersabhängigkeit der Nervenleitgeschwindigkeit nach. Durch ergänzende Arbeiten von Wagman (1954), Cerra und Johnson (1962) konnte ein anstieg der Leitgeschwindigkeit bis zum 6. Lebensjahr aufgezeigt werden, dem eine konstante Phase bis zum 42. Lebensjahr folgte, erst danach sanken die Werte wieder signifikant ab. Mulder und Mitarbeiter (1962) konnten diese Ergebnisse bestätigen.

Einen großen Einfluß auf die Leitfähigkeit des Nerven hat die temperatur des den Nerven umgebenden

Gewebes, wie dies vom Kaltblütler her bekannt ist (Buddenbrock 1953). Wagman und Lesse errechneten eine Verzögerung von 7 m/sec bei einer Abkühlung um 3°C. Henriksen kam 1956 bei seinen Untersuchungen am n. ulnaris zu ähnlichen Ergebnissen, die auch von Corbat (1961) bestätigt werden konnten.

Corbat fand bei dieser Studie auch ein unterschiedliches Tagesprofil der Nervenleitgeschwindigkeit. So wies bei drei Versuchspersonen die Leitgeschwindigkeit im Verlaufe eines Tages Unterschiede zwischen 8 und 18 m/sec auf.

Schließlich wäre an ein Mißverhältnis zwischen tatsächlichem und oberflächlich bestimmtem Nervenverlauf zu denken, wie es von Simpson (1956) und Carpendale (1956) diskutiert wurde.

Nicht zuletzt wird von mehreren Autoren (Hopf 1963; Kaeser 1970; Neundörfer, Adler 1972) die Verwendung von Nadelelektroden als Quelle für die große Streubreite angegeben, da von diesen Elektroden nur ein sehr kleiner Bereich abgegriffen wird und somit die Möglichkeit besteht, daß die Nadelspitze gerade das Potential einer langsam leitenden Faser aufzeichnet. Es könne sogar, wenn die Nadel nicht

in der Endplattenzone liegt, eine Verlangsamung der Nervenleitung vorgetäuscht werden, da die Fortleitung des Potentials in der Muskelfaser mit 4 - 6 m/sec relativ langsam vonstatten geht.

Trotz Berücksichtigung von Altersfaktoren, Tageszeit und Temperatur waren die Streubreiten späterer Untersucher immer noch sehr erheblich. Es war daher von Interesse, die Nervenleitgeschwindigkeit unter den Bedingungen der klinischen Routinemyographie einer erneuten Überprüfung zu unterziehen, wobei besonders darauf geachtet wurde, ob sich signifikante Änderungen der Zahlenwerte beim individuellen Seitenvergleich ergaben. Da im klinischen Gebrauch oft nur die distale Latenz zur ungefähren Abschätzung der Nervenleitgeschwindigkeit herangezogen wird, sollte auch überprüft werden, in wie weit eine Korrelation zwischen distaler Latenzzeit und Entfernung des distalen Reizpunktes von der Nadelelektrode einerseits und der tatsächlichen (d.h. der wie oben beschrieben errechneten) Geschwindigkeit andererseits bestand. Schließlich sollte die Notwendigkeit von Kontrolluntersuchungen überprüft werden, bei denen die

Nadel an gleicher Stelle um wenige Millimeter durch tieferes Einstechen oder leichtes Herausziehen bzw. durch geringfügige Seitwärtsbewegungen verändert wurde.



## II. MATERIAL UND METHODE

Die Untersuchungen wurden an 18 männlichen und 3 weiblichen, klinisch gesunden Versuchspersonen im Alter zwischen 23 und 50 Jahren vorgenommen, bei denen anamnestisch keine Stoffwechselkrankheiten und keine chronische Einnahme von Medikamenten zu eruieren war. Nur zwei der Versuchspersonen waren älter als 35 Jahre, während die Mehrzahl zwischen 26 und 27 Jahre alt war. Das Durchschnittsalter betrug 29,76 Jahre.

Die Leitgeschwindigkeit wurde, wie von Magladerly und McDougal 1950 beschrieben, bestimmt: "Der Nerv wird an zwei möglichst weit auseinanderliegenden Orten gereizt und das jeder Reizung zugehörige Muskelaktionspotential aufgezeichnet. Aus der Differenz der Überleitungszeiten und der Strecke zwischen beiden Reizorten errechnet sich die Leitgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde. Die Überleitungszeit wird vom Reizeinbruch bis zum Beginn des Muskelaktionspotentials gemessen, welche als verlässlichste Bezugspunkte gelten können."

Der n. ulnaris tritt in seinem Verlauf abschnittsweise dicht unter die Haut, so daß er perkutaner elektrischer Reizung zugänglich ist. Als günstigste Reizorte, die auch die obenerwähnte Forderung

nach größtmöglicher Entfernung erfüllen, bieten sich beim n. ulnaris die Handwurzel neben der Sehne des m. flexor carpi ulnaris und sein Knochenkanal am epicondylus humeri ulnaris an. Die Haut wurde über den Reizstellen sorgfältig gereinigt. Die Reizelektroden wurden vor jeder Stimulation mit Salzpaste präpariert. Es bereitete keine Schwierigkeiten mit dieser Vorbehandlung in jedem Falle eine supramaximale Erregung zu erreichen. Daher konnte darauf verzichtet werden, den Hautwiderstand durch Aufrauhen zu verringern, wie dies von Eichler (1937) gefordert wurde. Durchschnittlich wurde jeder Nerv proximal wie distal fünfmal gereizt.

Zur Stimulation wurden handelsübliche bipolare Oberflächen Elektroden mit Filzringen verwendet, die an den oben beschriebenen Stellen mit der Hand aufgesetzt und fixiert wurden. Da die Kathode nicht gekennzeichnet war, wurde darauf geachtet, daß die Elektroden stets in der gleichen Weise aufgesetzt wurden, und die Markierung erfolgte so, als ob der Stromimpuls von der Mitte zwischen beiden Elektroden käme. Die Erdungselektrode wurde mit Wasser angefeuchtet und um

die Mitte des linken Unterarmes gelegt, egal ob der linke oder rechte n.ulnaris untersucht wurde.

Zur Impulsgebung und Aufzeichnung diente ein handelsüblicher DISA-Einkanalmiograph. Er lieferte Rechteckimpulse von 1 msec Breite und einer Folgefrequenz von  $1/\text{sec}$  ( 1 Hz ). Die Stromstärke des Stimulus wurde von Schwellenstärke bis zu supramaximaler Reizstärke gesteigert. Mit einer Endspannung von 50 V konnte stets supramaximale Reizung erreicht werden.

Die Ableitung erfolgte aus einem zugehörigen Handmuskel - in unserem Falle dem m.interosseus dorsalis I - durch eine handelsübliche ko-axiale Nadelelektrode. Nach sorgfältiger Desinfektion der Ableitstelle wurde die sterile Nadel durch rasches Einstechen in die Mitte des Muskelbauches in die Nähe der Endplatte versenkt. Um die Einstichaktivität beurteilen zu können, wurde das Gerät auf "open" gestellt.

Gemessen wurde direkt vom Schirm des Oszilloskops und zwar die Zeit vom Beginn des Reizartefakts bis zur frühesten Abweichung des Strahls aufgrund der Muskelantwort. Da der Kipp durch den Reiz getriggert

war, konnte die Messung vom Beginn der Spur gemacht werden. Eine Markierungseinrichtung, die eine über den Bildschirm verschiebbare Marke erzeugt, wurde zur Bestimmung der Latenz zwischen Reizimpuls und Muskelantwort benutzt, wobei auf einer Skala die Zeit in Millisekunden sofort abgelesen werden konnte. Zur genauen Bestimmung der Überleitungszeit wurde die Zeitachse mit möglichst großer Kippgeschwindigkeit eingestellt, aber nur so schnell, daß das Muskelaktionspotential am rechten Bildrand noch klar zu erkennen war. Bei distaler Reizung entsprachen dann 1 cm auf dem Schirm bzw. der Ableseskala 0,5 msec, das entspricht einer Ablesegenauigkeit von 0,05 msec, während bei proximaler Reizung die Spreizung der x-Achse um die Hälfte verringert wurde, so daß nun 1 cm auf dem Schirm 1 msec entsprach und nur noch eine Ablesegenauigkeit von 0,1 msec gewährleistet war.

Es wurde stets darauf geachtet, daß die Initialphase des evozierten Muskelaktionspotentials ähnlich verlief für beide, die proximale wie die distale Reizantwort. Um ein möglichst klar abgesetztes "take off" des evozierten Muskelaktions-

potentials von der Grundlinie zu bekommen, wurde die Verstärkung so gewählt, daß die Kippablenkung dem oberen bzw. unteren Bildrand möglichst nahe kam. Dies wurde mit einer Verstärkung von 10 x 100 erreicht.

Die Distanz der beiden markierten Reizpunkte wurde oberflächlich bestimmt und lag im Schnitt bei 24,5 cm ( 22 - 28 cm), ebenso die Entfernung zwischen distalem Reizpunkt und Ableitelektrode. Hier wurden durchschnittlich 11,5 cm gemessen (10 - 12,5 cm).

An jede Untersuchung, sowohl am linken wie am rechten Arm, wurde eine Kontrolluntersuchung angeschlossen, bei der zuvor die Ableitnadel an gleicher Stelle durch leichtes Herausziehen bzw. tieferes Einstechen oder durch geringfügige Seitwärtsverlagerung verändert wurde. Gereizt wurde dann wieder an den bei der Erstuntersuchung markierten Stellen.

Die Untersuchungen wurden in einem Zeitraum von drei Wochen zwischen dem 16.7.1975 und dem 6.8.1975 bei relativ konstanter, aber selbst für die Jahreszeit sehr warmer Außentemperatur vorgenommen. Die Zimmertemperatur des Untersuchungsraumes betrug

konstant  $24^{\circ}\text{C}$ . Die Tageszeit bei 20 der 21 Untersuchungen war nachmittags zwischen 16.30 Uhr und 19.30 Uhr. Lediglich bei einer Person wurde die Untersuchung vormittags zwischen 9.30 Uhr und 9.45 Uhr vorgenommen. Die Versuchspersonen lagen dabei auf einer Couch und wurden aufgefordert, möglichst zu entspannen. Stets wurde zuerst der linke und dann der rechte Arm untersucht.

### III. ERGEBNISSE

Bei unserer Arbeit verwendeten wir Methoden und Prinzipien früherer Untersucher; daher ist es von Interesse, die gewonnenen Ergebnisse so auszuwerten, daß sie einen Vergleich mit diesen Arbeiten zulassen.

Dazu wurde für jeden Arm aus den beiden Werten (Erstuntersuchung und Kontrolle) ein Mittelwert für die Leitgeschwindigkeit gebildet und dieser in das Diagramm 1 eingetragen. Die Werte schwanken zwischen Minimum 56,5 m/sec und Maximum 74,6 m/sec. Das Diagramm zeigt eine zweigipflige Häufung der Werte zwischen 60 und 62,5 m/sec mit 14,3% der Werte und 67,5 und 70 m/sec mit 26,2% der Werte; also keine klassische Gaus'sche Verteilungskurve. Als Durchschnittsgeschwindigkeit ließ sich aus diesen Werten eine Nervenleitgeschwindigkeit von 66,3 m/sec und einer Standardabweichung von  $\pm 4,37$  m/sec errechnen.

Betrachtet man linken und rechten Arm gesondert, stellt man eine nur geringfügige Änderung der Durchschnittsgeschwindigkeiten fest und zwar links: 66,6 m/sec und einer SD von  $\pm 4,58$  m/sec rechts: 65,9 m/sec und einer SD von  $\pm 4,10$  m/sec Beide Werte differieren lediglich um 0,7 m/sec

und unterscheiden sich vom Gesamtdurchschnitt um  $\pm 0,35$  m/sec. Auffälliger erscheint der Unterschied in der Standardabweichung: sie liegt links um  $\pm 4,9$  m/sec oder ca. 12% höher als rechts. Beim Vergleich der Geschwindigkeitsverteilung jedes Armes (Diagramme 3 und 4) fällt auf, daß sich beim rechten Arm die Gipfel zwar an gleicher Stelle wie bei der Gesamtverteilung befinden, jedoch der Gipfel zwischen 67 und 70 m/sec nur 19% der Werte, der zwischen 61 und 64 m/sec aber 28,6% ausmacht. Betrachtet man nun die Verteilung für den linken Arm, so fällt an dieser Stelle - zwischen 61 und 64 m/sec - auf, daß in diesen Bereich nur ein einziger Wert fällt, der Gipfel bei der Gesamtverteilung sich also durch die Häufung der Werte beim rechten Arm ergibt. Dagegen macht der Gipfel zwischen 67 und 70 m/sec links 33,3% aller Werte aus. Daß trotz dieses hohen Gipfels rechts im Diagramm 3 und des fehlenden linken Gipfels die Durchschnittsgeschwindigkeit nicht höher liegt, ist durch die Häufung der unter 58 m/sec liegenden Werte bedingt, die links mit 14,3% wesentlich höher als rechts (4,8%) ist. Da in der Praxis meist nur eine einzige Bestimmung

gemacht wird, besteht eine größere Gefahr Extremwerte zu erhalten, als bei dem oben beschriebenen Verfahren der Mittelwertbildung. Zwar liegt die Durchschnittsgeschwindigkeit sämtlicher Einzelwerte logischerweise ebenso bei 66,3 m/sec, jedoch unterscheidet sich die Standardabweichung mit  $\pm 5,01$  m/sec um  $\pm 0,64$  m/sec von dem oberen Wert. Sie liegt aber damit nur unwesentlich höher und die durchschnittliche Streubreite ist bei den Einzelwerten nicht signifikant größer als bei den gemittelten Werten.

Im Seitenvergleich ergibt sich ein ähnliches Bild: Bei gleicher Durchschnittsgeschwindigkeit von links 66,6 m/sec und rechts 65,9 m/sec unterscheidet sich die Standardabweichung links mit  $\pm 5,46$  m/sec um  $\pm 0,88$  m/sec und rechts mit  $\pm 4,54$  m/sec um  $\pm 0,44$  m/sec, d.h. die bereits bei den Mittelwerten aufgefallene größere Streubreite links vergrößert sich bei Betrachtung der Einzelwerte um das Doppelte. Die Standardabweichung links ist bei den Einzelwerten um  $\pm 0,93$  m/sec oder 20,5% höher als rechts.

Als Extremwerte fallen links als Minimum 53,4 und Maximum 78,1 m/sec auf, während rechts als Minimum

56,5 und Maximum 78,1 m/sec gefunden wurden. Bei der Geschwindigkeitsverteilung springt sowohl bei der Auftragung sämtlicher Einzelwerte (Diagramm 2), wie bei der gesonderten Auftragung für den linken bzw. rechten Arm die Zweigipfligkeit der Häufung ins Auge ( Diagramme 5 und 6). Die Häufigkeitsgipfel liegen wie schon bei den Mittelwerten zwischen 62,5 und 65 m/sec und zwischen 67,5 und 70 m/sec. Der rechte Gipfel liegt bei der Gesamtverteilung mit 20,4% aller Werte etwas höher als der linke mit 16,8%, während er beim linken Arm mit 19% gegenüber 11,9% deutlich höher liegt. Hier finden wir zwischen 70 und 72,5 m/sec mit 16,7% und 72,5 und 75 m/ sec mit 11,9% der Werte noch eine deutliche Häufung während die Kurve danach rasch absinkt. Die Kurve für den linken Arm ist auch weiter auseinandergezogen als für den rechten, und so findet man zwischen 55 und 60 m/sec noch 19% der Werte in Übereinstimmung mit der größeren Standardabweichung. An gleicher Stelle befinden sich rechts nur 14,2% der Werte, zwischen 72,5 und 82,5 m/sec nur 9,5% , während zwischen 62,5 und 72,5 m/sec aber 64,2% aller Werte zu finden sind mit zwei gleich großen Gipfeln von je 21,4% an

den beschriebenen Stellen.

Unterschiede der Nervenleitgeschwindigkeit zwischen linkem und rechtem Arm bei derselben Versuchsperson:

Zuerst untersuchen wir die Geschwindigkeitsdifferenzen der jeweiligen Mittelwerte beider Arme. Beim Seitenvergleich beider Arme sieht man am Diagramm 7, daß die Mehrzahl der Werte eng beieinanderliegen und zwar differieren 38,1% nur zwischen 0 und 3,0 m/sec, 23,8% um 3,0 und 6,0 m/sec. Ein weiteres Drittel der Versuchspersonen weist Unterschiede zwischen 6,0 und 12,0 m/sec auf und nur bei einer Versuchsperson lag diese Differenz höher, d.h. mit Ausnahme von VP 1 (K.F.) wurde bei keiner Versuchsperson eine Diskrepanz der links und rechts ermittelten Nervenleitgeschwindigkeiten festgestellt, bei der der höhere Wert sich mehr als 15% vom kleineren unterschied.

Da bei den Routineuntersuchungen, wie bereits erwähnt, nur jeweils eine einzige Untersuchung vorgenommen wird, ist es interessant, die Einzel-

werte direkt zu vergleichen, und zwar so, daß die Differenz von Erstuntersuchung links und rechts und die Differenz zwischen Kontrolluntersuchung links und rechts zusammen in ein Diagramm eingetragen wird. Dabei fällt auf, daß zwar 68,3% der verglichenen Werte keine größere Differenz als 6 m/sec aufweisen (beim Vergleich der Mittelwerte fand man hier nur 61,9%), aber auch wesentlich extremere Unterschiede auftreten. In Diagramm 7 ist eine kontinuierliche Abnahme der Häufigkeit mit zunehmender Geschwindigkeitsdifferenz festzustellen, wobei nur eine Person eine größere Differenz als 12 m/sec aufwies. Im Gegensatz dazu liegen in 5 Fällen oder 12,1% der Werte in Diagramm 8 die Unterschiede über der 12 m/sec-Marke. In einem Fall (VP1) beträgt die Diskrepanz zwischen beiden Armen sogar 17,7 m/sec, d.h. bei der Erstuntersuchung liegt rechts die Leitgeschwindigkeit um 22,7% niedriger als links.

Bei jeder Versuchsperson mit Ausnahme von VP 6 (K.R.) wurde die Nervenleitgeschwindigkeit im Ganzen 4-mal gemessen. Um nun die bei ein und derselben Person auftretenden Geschwindigkeits-

unterschiede zu verdeutlichen, wurde jeweils der langsamste und der schnellste der vier Werte herausgegriffen und ihre Differenz in Diagramm 9 eingetragen. Z.B. VP 2, linker Arm, Kontrolluntersuchung: 67,1 m/sec; rechter Arm, Erstuntersuchung: 61,5 m/sec; ergibt eine Differenz von 5,6 m/sec oder VP 3, rechter Arm, Erstuntersuchung: 70,8 m/sec ; rechter Arm, Kontrolluntersuchung: 74,9 m/sec; ergibt eine Differenz von 4,1 m/sec. Hier fällt auf, daß bei allen Versuchspersonen größere Unterschiede als 2 m/sec auftraten und nurmehr bei einem Drittel der Fälle kleinere als 6 m/sec. Jenseits der 12 m/sec-Marke findet man hier 5 Werte, d.h. 23,8% aller Fälle und somit doppelt soviel wie in Diagramm 7. Allerdings ist der Extremwert hier der gleiche und zwar bei VP 1 mit 17,7 m/sec Unterschied zwischen langsamster und schnellster gemessener Leitgeschwindigkeit.

Mit Ausnahme bei VP 6 wurden bei allen Versuchspersonen an beiden Armen und sowohl bei der Bestimmung der distalen wie der proximalen Latenz Kontrolluntersuchungen durchgeführt. Beim direkten Vergleich, wie er durch Tabelle 1 vermittelt wird,

wo die entsprechenden Kolonnen direkt nebeneinander stehen, zeigen sich keine signifikanten Latenzunterschiede zwischen Erstuntersuchung und Kontrolle. Dieser Eindruck wird im Diagramm 13 verdeutlicht: hier wurden die bei der Erstuntersuchung gewonnenen distalen und proximalen Latenzen mit den jeweiligen Kontrollwerten verglichen und die Differenzen in das Diagramm eingetragen: in 17,1% der Fälle wurde völlige Gleichheit beider Werte festgestellt, in 31,6% bzw. 32,9% wurde lediglich eine kleine Änderung um 0,1 bzw. 0,2 msec gemessen. in 14,5% der Fälle betrug der Unterschied 0,3 msec und nur bei 3 Messungen (3,9%) differierten beide Latenzen um 0,4 msec. Legt man zugrunde, daß 0,1 msec Latenzunterschied durchschnittlich eine Geschwindigkeitsänderung von 1,69 m/sec bedingt, so wäre in diesen 3 Fällen eine unterschiedliche Nervenleitgeschwindigkeit von 7,16 m/sec zu erwarten.

Entscheidend für die Beurteilung der Kontrolle ist jedoch die Differenz von proximaler minus distaler Latenz der Erstuntersuchung im Vergleich mit den entsprechenden Werten der Kontrolle.

Durchschnittlich wurden hier bei der Erstuntersuchung eine Impulslaufzeit von 3,75 msec zwischen proximalem und distalem Reizpunkt gemessen, wobei als schnellste Laufzeit 3,2 und als langsamste 4,6 msec gemessen wurden; bei der Kontrolle lag der Wert mit 3,67 msec etwas niedriger (3,0 - 4,6 msec). Durchschnittlich unterschieden sich die Laufzeiten der Erstuntersuchung und der Kontrolle am linken Arm um  $\pm 0,24$  msec oder 4,3 m/sec, während am rechten Arm lediglich ein Unterschied von  $\pm 0,16$  msec oder 2,86 m/sec festgestellt wurde. Die Verteilungskurve im Diagramm 14 zeigt, daß immer noch 17% der Werte identisch sind; diese gleiche Impulslaufzeit wurde aber hier zum Teil bei Versuchspersonen festgestellt, die bei der Betrachtung ausschließlich der distalen oder proximalen Latenz beträchtliche Unterschiede aufwiesen: so fiel bei VP 20 (V.Ch.) am rechten Arm sowohl bei der distalen wie bei der proximalen Latenz eine Differenz von je 0,4 msec zwischen Erst- und Kontrolluntersuchung auf, bei der Berechnung der Laufzeit zwischen beiden Reizpunkten ergibt sich aber in beiden Fällen eine Zeit von 3,3 msec.

Die Häufung bei 0,1 und 0,2 msec mit je 24,4% der Werte ist niedriger als im oben beschriebenen Diagramm 13. Im ganzen unterscheiden sich nur 65,8% der untersuchten Laufzeiten um weniger als 0,2 msec vom jeweiligen Kontrollwert, während beim Vergleich der absoluten Latenzzeiten 81,6% unter dieser Marke liegen. 14,6% der Laufzeiten differieren um 0,3 msec, 12,2% um 0,4 msec und in drei Fällen oder 7,3% treten Unterschiede auf, die mehr als 0,4 msec ausmachen.

Da heute bei vielen Routineuntersuchungen lediglich die distale Latenz bestimmt wird, soll der Vergleich mit den jeweiligen Kontrollwerten hier noch extra angeführt werden: insgesamt ergibt sich eine durchschnittliche Abweichung beider Werte um 0,16 msec, im Seitenvergleich ist diese links mit 0,167 msec gegenüber 0,155 msec Latenzunterschied rechts etwas größer. Die Verteilung der gesonderten Darstellung im Diagramm 15 unterscheidet sich nicht wesentlich vom Diagramm 13, wo zusätzlich die proximalen Latenzzeiten berücksichtigt sind. Prozentual unterscheiden sich ebenso 82% der Kontrolluntersuchungen um weniger als

0,2 msec. Wie bereits oben an VP 20 (V.Ch.) erläutert, bedeutet aber ein großer Latenzunterschied nicht, daß die auf übliche Weise ermittelte Geschwindigkeit unterschiedlich ausfällt; umgekehrt kann man aber auch von geringen Latenzunterschieden bei distaler Reizung nicht darauf schließen, daß die tatsächlichen Geschwindigkeiten bei der Erst- und Kontrolluntersuchung in etwa die gleiche Größenordnung haben.

Damit sind wir bereits beim nächsten Punkt unserer Untersuchung: hier soll geprüft werden, inwieweit der absolute Wert der distalen Latenz eine Aussage über die Nervenleitgeschwindigkeit zuläßt.

Bei der Aufstellung von Tabelle 4 wurde von folgender Überlegung ausgegangen: wir kennen die Durchschnittsgeschwindigkeit von 82 Einzelergebnissen - 66,3 m/sec. Man kann davon ausgehen, daß dieser Wert unter gleichbleibenden Bedingungen bei weiteren Untersuchungen keine wesentliche Änderung mehr erfahren wird. Als Durchschnittswert sämtlicher distaler Latenzzeiten bekommt man 3,92 msec. Aus beiden Größen läßt sich nun errechnen, wieviel Meter der Impuls während

0,1 msec Latenzdauer durchschnittlich zurücklegt - 1,69 m. Berechnet man nun daraus für den Einzelfall mit der distalen Latenzzeit die Nervenleitgeschwindigkeit, so kommt man zu Ergebnissen, wie sie in Tabelle 4 aufgeführt sind. In Klammern ist hinter jedem Wert die Differenz zu der auf übliche Weise berechneten Leitgeschwindigkeit angegeben; daraus läßt sich eine durchschnittliche Abweichung von  $\pm 6,96$  m/sec errechnen. Die Häufigkeitsverteilung zeigt Diagramm 16: fast 20% der auf diese Weise ermittelten Geschwindigkeiten unterscheiden sich weniger als 2 m/sec von den in Tabelle 1 errechneten, 44,6% liegen näher als 6 m/sec beieinander und 80,7% weisen eine geringere Diskrepanz als 12 m/sec auf. In fünf Fällen (6%) treten aber Unterschiede zwischen 16 und 18 m/sec auf. Betrachtet man diese Fälle im einzelnen, fällt einem hier auf, daß bei diesen Versuchspersonen durchwegs sehr kurze bzw. sehr lange Latenzzeiten abgelesen wurden. Bei einer sehr kurzen Latenzzeit wird man aber eher eine schnelle Leitgeschwindigkeit erwarten, ebenso bei einer besonders verzögerten Latenz eine langsamere Leitgeschwindigkeit, läßt man dabei außer Acht,

daß diese Verzögerung durch die terminale Überleitung bedingt sein kann. Nach der eben beschriebenen Methode kommt aber gerade zu umgekehrten Ergebnissen.

Es erscheint daher sinnvoller, von den Durchschnittswerten auszugehen und von diesen Werten im Einzelfall die Nervenleitgeschwindigkeit nach oben oder unten zu verändern. D.h. 3,9 msec distale Latenz entsprechen einer Nervenleitgeschwindigkeit von 66,3 m/sec; alle Latenzzeiten, die darunter liegen, also kürzer sind, ergeben eine Geschwindigkeit, die um 1,69 m pro 0,1 msec Latenzdifferenz über dem Durchschnittswert liegen. Das gleiche gilt für verzögerte Latenzen, aus denen sich Geschwindigkeiten errechnen lassen, die entsprechend unter dem Durchschnittswert liegen. Im einzelnen sind die so errechneten Nervenleitgeschwindigkeiten in Tabelle 5 aufgeführt, wiederum in Klammern mit den Geschwindigkeitsunterschieden zu den Werten aus Tabelle 1. Daraus läßt sich eine durchschnittliche Abweichung von  $\pm 7,85$  m/sec errechnen, im Vergleich ein ungünstiger Wert als der aus Tabelle 4 errechnete. Beim Vergleich zwischen Abbildung 17 und Abbildung 16

läßt sich zwar auch im Diagramm 17 eine annähernd gleiche Häufung von Ergebnissen feststellen, die kleinere Unterschiede als 2 m/sec aufweisen (19,3%) bzw. deren Nervenleitgeschwindigkeit um weniger als 6 m/sec mit dem entsprechenden Wert aus Tabelle 1 differiert (42,2%). Jedoch findet man hier nur noch 71,1% gegenüber 80,7% in Diagramm 16 mit kleinerer Diskrepanz als 12 m/sec, während ein hoher Gipfel mit 18,1% der Werte bei 12 - 14 m/sec auffällt; in sieben Fällen erhielt man gar unterschiedliche Geschwindigkeiten von mehr als 18 m/sec Differenz.

Die individuellen Längenunterschiede zwischen distalem Reizpunkt und Ableitelektrode blieben bei den bisherigen Berechnungen unberücksichtigt. Da diese Ergebnisse aber nicht voll befriedigen können, läßt sich vielleicht unter Berücksichtigung der oberflächlich bestimmten Nervenlänge eine größere Berechnungsgenauigkeit erreichen. Allerdings wird das Berechnungsverfahren dadurch noch komplizierter: die durchschnittliche Entfernung zwischen distalem Reizpunkt und Ableitelektrode beträgt 11,2 cm. In Fällen, wo diese Distanz größer ist als 11,2 cm, muß der Impuls

eine längere Strecke zurücklegen und die Latenzzeit vergrößert sich. Die nach Tabelle 5 errechnete Geschwindigkeit ist dann zu klein. Die Durchschnittsgeschwindigkeit von 66,3 m/sec läßt sich auf 0,15 msec pro cm Nervenlänge umrechnen, d.h. pro Zentimeter Distanzunterschied zum Durchschnittswert werden zur jeweiligen Latenzzeit 0,15 msec dazugezählt bzw. abgezogen. Leider bringen die so ermittelten Ergebnisse nicht die erwartete Verbesserung der Genauigkeit: in 13 Fällen blieb das Ergebnis gleich, in 35 Fällen wurde es verbessert, in ebensoviel Fällen aber verschlechtert. Entscheidende Änderungen wären aber sowieso nicht zu erwarten, da mit einer einzigen Ausnahme nie ein größerer Unterschied zum Durchschnittswert als 1,3 cm auftrat und daher die daraus errechneten Geschwindigkeitsänderungen nur in diesem einen Fall größer als 3,3 m/sec wären.

Die Schwierigkeit, aus der distalen Latenz Schlüsse auf die Nervenleitgeschwindigkeit zu ziehen, liegt vor allem darin, daß in dieser Zeit sehr viele Variable enthalten sind. Sie umfaßt erstens die reine Leitzeit im myelini-

sierten Teil des Nervs, zweitens die terminale Leitzeit im markscheidenlosen Endstück, drittens die neuromuskuläre Übertragungszeit und schließlich viertens die Fortleitung im Muskel selbst. Tabelle 6 gibt Aufschluß über die terminale Überleitungszeit, in der von den vier obengenannten Punkten die reine Leitzeit nicht mehr enthalten ist. Hierbei wurde in jedem Einzelfall die jeweilige Nervenleitgeschwindigkeit in Millisekunden pro Zentimeter umgerechnet, mit der Entfernung zwischen distalem Reizpunkt und Nadelelektrode multipliziert und die so errechnete Laufzeit von der distalen Latenz abgezogen. Im Schnitt errechnete sich daraus eine terminale Überleitungszeit von 2,21 msec. Die Verteilungskurve zeigt an dieser Stelle einen deutlichen Gipfel mit 22% der Werte. Im Bereich von 1,4 - 3,0 msec häufen sich 91,5% der Ergebnisse.

#### IV. DISKUSSION

Einleitend wurde bereits auf mehrere Arbeiten verwiesen, deren Ergebnisse in Tabelle 2 aufgeführt und Vergleichsgegenstand zu den eigenen Ergebnissen im zweiten Teil dieser Diskussion sind. Mehrere dieser Arbeiten beschäftigen sich mit dem Problem der Streubreite ihrer Ergebnisse und fanden Parameter, die sie als Ursache für diese Streuung anschuldigen konnten. Inwieweit diese Parameter zur Erklärung der Variationsbreite der oben beschriebenen Ergebnisse (53,4 - 78,1 m/sec) herangezogen werden können, soll nun im folgenden erläutert werden.

Wagman und Lesse (1952), Mulder und Mitarbeiter (1961) und Corbat (1961) konnten eine Abhängigkeit der Leitgeschwindigkeit vom Alter der Versuchspersonen aufzeigen (Tabelle 3). In der Altersgruppe um 10 Jahre liegt sie am höchsten und nimmt danach stetig leicht ab. Weitere Untersuchungen von Wagman (1954) ergaben, daß zwischen dem sechsten und zweiundvierzigsten Lebensjahr die Reflexzeit der Extremitätenlänge direkt entspricht und er

schließt daraus, daß die Leitgeschwindigkeit weitgehend konstant bleibt. Erst jenseits dieses Alters ist eine signifikante Abnahme zu erwarten. Da von allen Versuchspersonen nur bei einer einzigen (VP 6, I.G., 50 Jahre) eine altersbedingte leichte Reduzierung der Leitgeschwindigkeit zu berücksichtigen ist, kann diesem Parameter für unsere Untersuchung keine Bedeutung beigemessen werden.

Eine wesentliche Rolle für die Leitfähigkeit eines Nerven spielt nach Wagman und Lesse (1952) die Temperatur des diesen Nerven umgebenden Gewebes; sie errechneten eine Verzögerung der Leitgeschwindigkeit um 7 m/sec bei Erniedrigung der Temperatur um  $3^{\circ}$  C. Henriksen (1956) und Corbat (1961) konnten diese Untersuchungen bestätigen. Henriksen maß dabei die Leitgeschwindigkeit der motorischen Fasern des n. ulnaris im Unterarm, wobei der Arm in einem Wasserbad lag. Durch einen Thermistor, der in einer Tiefe von 2 cm im proximalen Drittel des Unterarms nahe dem Nervenverlauf lag, wurde die Temperatur gemessen, sie variierte zwischen  $29^{\circ}$  und  $38^{\circ}$  C. Die mittlere Abweichung der Leitgeschwindigkeit

lag bei 2,4 m/sec pro Grad der Temperaturänderung. Henriksen maß auch die Temperatur während Aufzeichnungen, die er unter ähnlichen Bedingungen machte wie jene bei unserer Untersuchung, und fand, daß die Muskeltemperatur bei verschiedenen Personen im allgemeinen zwischen  $34^{\circ}$  und  $36,5^{\circ}$  C schwankte. Bei der vorliegenden Untersuchungsreihe wurden absichtlich Unterschiede, die auf unkontrollierte Temperaturen zurückzuführen sind, hingenommen, um die Ergebnisse direkt auf Patienten anwenden zu können, wie man sie bei der elektromyographischen Routineuntersuchung zu sehen bekommt. Trotzdem dürfte die temperaturbedingte Schwankung bei verschiedenen Versuchspersonen nicht größer als 6 m/sec sein. In Anbetracht der konstanten Raumtemperatur und der nahezu gleichen äußeren Witterungsbedingungen während der Untersuchungszeitraums, dürfte diese Schwankung sogar noch etwas niedriger liegen.

Corbat wies 1961 in seiner Arbeit an drei Versuchspersonen eine Variabilität der Leitungsgeschwindigkeiten bei der gleichen Person im Verlaufe eines Tages nach. Die von ihm registrierten Unterschiede

lagen bei 1 Versuchsperson zwischen 53 und 70 m/sec. Drei Untersuchungen reichten aber nicht aus, um eine Systematik beweisen zu können, d.h. er konnte nicht nachweisen, daß ein allgemein gültiges Tagesprofil der Nervenleitgeschwindigkeit existiert, das z.B. am Morgen Spitzenwerte aufweist und schließlich bis zum Abend kontinuierlich abnimmt. Setzt man dieses Tagesprofil für unsere Untersuchung voraus, dann dürfte auch dieser Parameter keine Rolle für die Schwankungsbreite spielen, da mit einer Ausnahme sämtliche Untersuchungen nachmittags zwischen 16.30 Uhr und 19.30 Uhr vorgenommen wurden.

Bei unserer Untersuchungsreihe wurden ko-axiale Nadelelektroden für die Ableitung verwendet, da ihnen im klinischen Gebrauch der Vorzug gegeben wird. Zum einen können so in einem Arbeitsgang sowohl konventionelle Elektromyographie wie auch die Elektroneurographie durchgeführt werden. Zum anderen ist bei der Nadelableitung der Beginn des evozierten Potentials schärfer gezeichnet und die Gefahr einer Fehlbeurteilung durch Einstreuen von Potentialen benachbarter Muskeln

bei Ableitung aus atrophischen Muskeln geringer. Diese Vorteile werden auch von Verfechtern der Oberflächenelektroden anerkannt, jedoch vertreten Hopf (1963) und Kaeser (1970) in ihren Arbeiten die Ansicht, daß im Gegensatz zu den Hautelektroden, die unabhängig von ihrer Lage zum Muskel immer die frühzeitigsten Potentialveränderungen erfassen, bei Benutzung von Nadelelektroden die Latenzzeit in Abhängigkeit vom Einstichort wechseln kann. Da man insbesondere mit den koaxialen Nadeln nur die Potentiale des unmittelbar umliegenden Muskelgewebes abgreift, würde man nicht so sicher stets die früheste Muskelantwort erhalten. Vielmehr könne die relativ langsame Fortleitung des Muskelspike über die Muskelfaser (4 - 6 m/sec) eine Verzögerung der Nervenleitung vortäuschen, wenn die Nadel z.B. entfernt von der Endplattenzone des Muskels liegt: eine Entfernung von 1 cm zwischen Nadelelektrode und Endplatte bedingt eine Verzögerung der Latenz um 2 msec! Dieser Einwand ist sicherlich gerechtfertigt, will man die Nervenleitungsschwindigkeit nur aus der distalen Latenzzeit beurteilen, da sich diese aus Laufzeit, termina-

ler Leitzeit, neuromuskulärer Übertragungszeit und der Übertragung im Muskel selbst zusammensetzt. Bei der üblichen Bestimmung der Leitungsgeschwindigkeit werden aber proximale und distale Latenz voneinander abgezogen; diese Differenz enthält dann nur noch die reine Laufzeit zwischen beiden Reizpunkten und damit kann der Ableitungsfehler eliminiert werden. Ein anderes Argument wird von Hudson und Dow (1963), McQuillen und Gorin (1969) ins Feld geführt, wenn sie die Ableitung mit Oberflächen Elektroden als exakter bezeichnen, weil das Summenaktionspotential des gesamten Muskels und damit vor allem die am schnellsten leitenden Nervenfasern erfaßt werden, während mit ko-axialen Nadelelektroden nur die Potentiale des umgebenden Muskelgewebes abgegriffen werden und somit nicht stets die früheste Muskelantwort erhalten wird. Thomas, Sears und Gilliatt (1959) beschreiben die Möglichkeit, daß bei einer Aktivierung einer Großzahl von Muskelfasern eine Synchronisation mit den schnellsten Nervenfasern erfolgt, jedoch fehlt, wenn nur eine geringe Zahl erregt ist. Sie berufen sich dabei auch auf eine frühere Arbeit von Merton (1954).

Für diese Annahme spricht auch die Tatsache, daß oft erst bei supramaximaler Reizung der früheste Ausschlag gemessen werden kann. Zudem ergaben vergleichende Untersuchungen von Poloni und Sala (1962), Visser (1964) und Neundörfer, Adler (1972), daß beide Methoden keine nennenswerten Unterschiede in ihren Ergebnissen erkennen lassen.

Als weitere Fehlerquelle wären Ungenauigkeiten, die bei einer Routineuntersuchung unvermeidlich sind, zu diskutieren.

Bei Fixierung der oberflächlichen Reizelektrode mit der Hand sind geringfügige laterale, aber auch Verschiebungen entlang der Längsachse häufig, um den günstigsten Reizpunkt zu erreichen. Nach Wegnahme der Reizelektrode gleitet die Haut jedoch wieder in ihre Ausgangslage zurück und die nachfolgende Markierung und Messung erfolgt nicht genau über dem eigentlichen Reizpunkt. Carpendale (1956) und Henriksen (1956) kamen in ihren Arbeiten zu dem Ergebnis, daß leichte Seitwärtsbewegungen der Elektroden bei perkutaner Reizung die Meßwerte nicht nennenswert verändern. Dagegen wirken sich Längsverschiebungen auf die Berechnung

der Nervenleitgeschwindigkeit aus, da hier die oberflächliche Messung der Laufstrecke beeinflusst wird. Die größten Abweichungen vom tatsächlichen Reizpunkt dürften aber nie mehr als 0,5 cm betragen und, setzt man eine Verschiebung bei distaler und proximaler Reizung in entgegengesetzter Richtung voraus, wirkt sich dieser Fehler maximal mit einer Leitgeschwindigkeitsänderung von  $\pm 2,7$  m/sec aus. Der Fehler dürfte aber noch geringer sein, da man bei den meisten Versuchspersonen bei distaler Reizung die Elektrode an der Handwurzel anstehen lassen kann und damit eine Fixierung in der Längsachse erreicht. Die Markierung wurde, wie im Abschnitt "Material und Methode" beschrieben, so vorgenommen, daß die Mitte zwischen Anode und Kathode als hypothetischer Ausgangspunkt der Reizung angenommen wurde und ohne genaue Abmessung auf der Haut markiert wurde. Eine genauere Markierung wäre möglich gewesen, wenn bei der von uns verwendeten Reizelektrode die Kathode gekennzeichnet gewesen wäre und damit der Eindruck der Kathode auf der Haut als Markierungspunkt gedient hätte. Die Ungenauigkeit bei der Markierung dürfte aber selbst

bei distaler und proximaler Addierung nicht mehr als 0,5 cm betragen und der Fehler bei der Berechnung der Nervenleitgeschwindigkeit daher höchstens  $\pm 1,3$  m pro Sekunde sein. Der Fehler ist deshalb nicht größer, da stets darauf geachtet wurde, daß die bipolaren Reizelektroden immer in der gleichen Weise aufgesetzt wurden und damit die Markierung des hypothetischen Ansatzpunktes der Kathode proximal wie distal in der gleichen Richtung vom tatsächlichen Ansatzpunkt abwich. Bedeutung gewänne dieser Fehler nur bei einer Bestimmung der Nervenleitgeschwindigkeit aus der distalen Latenzzeit unter Zuhilfenahme der Leitstrecke vom distalen Reizpunkt (= Kathodenansatzpunkt) bis zur Ableit-elektrode. Dies ist aber, wie sich im weiteren zeigen wird, nicht gelungen und daher eine genauere Fehlerberchnung hinfällig.

Die oberflächliche Messung der Nervenlänge könnte zu einem weiteren Fehler führen, wenn die tatsächliche Länge des darunter liegenden Nerven in einem größeren Ausmaß von der Oberflächenentfernung zwischen beiden Punkten abweicht. Carpendale (1956) verglich die tatsächliche Länge des n. medianus

und n. ulnaris, die er bei der Sektion des Unterarmes an vier Leichen fand, mit den Ergebnissen bei oberflächlicher Messung und kam zu dem Schluß, daß die Fehler, die sich auf diese Weise einschlichen, von geringer Bedeutung waren. Trotzdem läßt sich diese oberflächliche Bestimmung bei Routineuntersuchungen nicht ganz exakt durchführen und in Einzelfällen dürfte der Meßfehler bis zu 1 cm betragen, was zu einer Leitgeschwindigkeitsänderung von 2,7 m/sec führt.

Schließlich dürfte die Bildschirmablesung zu weiteren Fehlern geführt haben, da die früheste Abweichung des Kathodenstrahls nicht immer exakt eingestellt werden konnte. Bei distaler Reizung wurde die Zeitachse so gewählt, daß 1 cm auf der Ablese skala 0,5 msec entsprach. Bei einer Einstellgenauigkeit von 2 mm treten Meßfehler von  $\pm 0,1$  msec auf. Da bei proximaler Reizung die Kippgeschwindigkeit verdoppelt wurde, entsprechen nun 1 cm 1 msec und der Meßfehler beträgt hier  $\pm 0,2$  msec. Bei Addition beider Fehler ergibt sich bei einer durchschnittlichen Laufzeit von 3,7 msec eine maximale Abweichung von 8,1% bzw.  $\pm 5,4$  m/sec von der tatsächlichen Nervenleitge-

schwindigkeit. Diesem Fehler kommt damit von allen in diesem Abschnitt diskutierten die größte Bedeutung zu. Aus allen diesen relativen Fehlern läßt sich nun nach der Formel: 1. relativer Fehler a, 2. relativer Fehler b, 3. relativer Fehler c usw. der Gesamtfehler  $\sqrt{a^2+b^2+c^2}$  usw. errechnen also  $\sqrt{2,7^2+1,3^2+2,7^2+5,4^2} = 6,74$ . Dies bedeutet bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 66,3 m/sec eine Streuung von 6,74 m/sec um den Durchschnittswert.

Wie bereits einleitend erwähnt wurde, errechneten frühere Untersucher trotz erheblicher Unterschiede bei den Einzelwerten ähnliche Durchschnittswerte der Nervenleitgeschwindigkeit des n.ulnaris. In Tabelle 2 sind einige dieser Werte und die Variationsbreiten angegeben. Vergleicht man damit unsere Ergebnisse, dann läßt sich hinsichtlich der Streubreite zwischen 53,4 und 78,1 m/sec keine Auffälligkeit entdecken. Zwar war bei einigen Untersuchern die Variationsbreite geringer als 25 m/sec, dies dürfte aber zum Teil an dem kleinen Kollektiv von nur 5 (McQuillen, Gorin) und 8 (Magladery, McDougal)

Versuchspersonen liegen. Während nur Redford (1958) einen höheren Wert als 78,1 msec fand, lag die untere Grenze bei allen aufgeführten Untersuchungen um mindestens 5 m/sec niedriger als der kleinste Wert bei unserer Untersuchung. Vergleicht man schließlich unsere Durchschnittsgeschwindigkeit von 66,3 m/sec mit denen in Tabelle 2, dann unterscheidet sich diese um mindestens 6 m/sec von allen dort aufgeführten. Am nächsten kommen wir dabei noch dem Ergebnis von Mulder und Mitarbeitern, die 59,9 m/sec als Durchschnittswert ermittelten. Dies erscheint auffällig, da keines der früheren Ergebnisse sich in solchem Ausmaß von den anderen unterscheidet. Eine Erklärung für diese Diskrepanz ist nur schwer zu finden. Einerseits könnte die Ursache im verwendeten Material liegen, andererseits wäre auch an die überdurchschnittlich hohe Außentemperatur während des Untersuchungszeitraums und dadurch bedingt an eine Erhöhung der Temperatur des den Nerven umgebenden Gewebes zu denken.

Beim Seitenvergleich in Diagramm 8 von linkem und rechtem n. ulnaris stellt man zum Teil erhebliche

Unterschiede fest, die im Diagramm 9 noch stärker zu Tage treten und die die Schwierigkeit verdeutlichen, die in Grenzfällen bei der Abgrenzung zum Pathologischen auftreten. Es dürfte aber unwahrscheinlich sein, daß es sich in den extremen Fällen um Meßfehler handeln könnte, da bei VP 1 (K.F.) die Untersuchung von Dr. Ross selbst vorgenommen wurde und hier der größte Seitenunterschied von 17,7 m/sec festgestellt wurde. Seitenunterschiede fielen auch bei der Standardabweichung auf. Bei Betrachtung der Einzelergebnisse streuen diese beim rechten Arm um 20,5% weniger als beim linken. Ganz besonders auffällig sieht man diesen Seitenunterschied in den Diagrammen 11 und 12: beim linken Arm differieren zwei Drittel der Werte der Kontrolluntersuchung um weniger als 6 m/sec gegenüber denen der Erstuntersuchung, beim rechten Arm weisen aber 95% der Fälle kleinere Unterschiede als 6 m/sec auf. Die Erklärung könnte darin liegen, daß die Versuchspersonen beim rechten Arm, der immer zuletzt untersucht wurde, besser entspannten als beim linken.

Damit sind wir beim Problem der Kontrolluntersuchungen. Wenn die eben genannte Annahme richtig ist, daß die bedeutend größere Übereinstimmung der beiden Untersuchungen am rechten Arm durch die bessere Entspannung bedingt ist, könnte man diese Kontrolluntersuchungen dadurch überflüssig machen, daß man den Versuchspersonen bzw. den Patienten die Angst oder auch nur die Unsicherheit vor der Untersuchung nimmt. Wie dies erreicht werden kann, wird in der EMG-Fibel von Láhoda, Ross und Issel (1973) beschrieben: "Man erklärt dem Patienten kurz Zweck und Art der folgenden Untersuchung.

..... Die stufenweise und maximale Innervation jener Muskeln oder Muskelgruppen, die für die betreffende Untersuchung in Frage kommen, wird - noch ohne Nadel - geprobt. Anschließend vollständige Entspannung, die gegebenenfalls durch optimale Lagerung herbeigeführt wird."

Die Frage, ob es zulässig ist, aus der distalen Latenzzeit Schlüsse auf die Nervenleitgeschwindigkeit zu ziehen, kann in unserer Arbeit nicht hinreichend geklärt werden. Die Ergebnisse aus

Tabelle 4 und Diagramm 16 scheinen zwar relativ gut mit den auf übliche Weise bestimmten Leitungsgeschwindigkeiten übereinzustimmen, es sind jedoch berechnete Zweifel am Platz, ob diese Kongruenz bei pathologischen Werten auch noch erreichbar ist. Denn wenn auch die Resultate aus Tabelle 5 und Diagramm 17 auf den ersten Blick weniger befriedigen, sind sie auf jeden Fall logischer, da bei einer kurzen Latenzzeit in der Regel eine schnellere Nervenleitgeschwindigkeit zu erwarten ist als bei einer langen Latenzzeit. Eine ungewöhnlich verlängerte Latenzzeit läßt aber keine Aussage über die pathologische Wertigkeit zu, da diese Verzögerung durch eine weit von der Endplattenzone liegenden Nadelableitung vorgetäuscht werden kann. Andererseits ist die Lokalisation eines tatsächlichen pathologischen Prozesses nicht erkennbar, der sich sowohl im Nervenverlauf, im terminalen markcheidenlosen Teil oder bei der neuromuskulären Übertragung abspielen kann.

Als letztes wurde von uns noch die terminale Überleitungszeit berechnet. Als Durchschnittswert ergab sich 2,21 msec, im Vergleich mit anderen Autoren

(Carpendale 1956, Mulder und Mitarbeiter 1956)  
ein niedrigerer Wert. Beide fanden bei ihren  
Untersuchungen Mittelwerte von 2,7 msec und  
einer Variationsbreite zwischen 2,1 - 3,4 bzw.  
zwischen 2 - 4 msec. Die Variationsbreite lag  
bei uns zwischen 1,2 und 3,4 msec. Es wurde  
also bei unseren Ergebnissen nicht nur eine  
höhere Nervenleitgeschwindigkeit beobachtet,  
sondern auch eine beschleunigte terminale  
Überleitung. Nimmt man an, die beiden Extrem-  
werte im Diagramm 18 zwischen 3,2 und 3,4 msec  
wurden durch eine von der Endplattenzone ent-  
fernte Ableitung verursacht und dadurch eine  
Verlängerung der Latenz um ca. 1 msec vorge-  
täuscht, dann kann man aus der Fortleitung  
elektrischer Potentiale im Muskel von 4 - 6  
msec errechnen, daß die Nadel nie weiter als  
0,5 cm von der Endplatte plazierte war und daher  
die Gefahr einer Vortäuschung pathologischer  
Latenzzeiten, wie oben erwähnt, gering ist bei  
Ableitung aus einem kleinen Handmuskel wie dem  
m. interosseus dorsalis I.

## V. ZUSAMMENFASSUNG

Die motorische Nervenleitgeschwindigkeit des n. ulnaris wurde an 21 klinisch gesunden Versuchspersonen unter den Bedingungen der klinischen Routinemyographie einer erneuten Prüfung unterzogen. Dabei ergab sich:

1. Die Durchschnittsgeschwindigkeit von 66,3 m/sec lag 10 - 20% über den Ergebnissen früherer Untersuchungen.
2. Die Streubreite mit Werten zwischen 53,4 - 78,1 m/sec lag etwa in der gleichen Größenordnung wie die vergleichbarer früherer Untersuchungen.
3. Die Durchschnittsgeschwindigkeit für den rechten n. ulnaris war identisch mit dem für den linken Arm errechneten Wert.
4. In der überwiegenden Mehrzahl der untersuchten Fälle unterschieden sich die beiderseitigen Meßwerte um weniger als 10% voneinander.
5. Alle Werte der Erstuntersuchungen lagen im Normbereich. Die Kontrolle nach Änderung der Nadelposition ergab keine davon wesentlich abweichenden Werte, so daß bei der klinischen Routinediagnostik auf eine Kontrolluntersuchung verzichtet und somit dem Patienten eine zusätzliche Belastung erspart werden kann.



## LITERATUR

- BUDDENBROCK, W. von: Vergleichende Physiologie. II. Nervenphysiologie. Birkhäuser, Basel 1953
- CARPFENDALE, M. T. F.: Conduction time in the terminal portion of the motor fibres of the ulnar, median and peroneal nerves in healthy subjects and in patients with neuropathy. M.S. Thesis (Phys. Med.) Univ. of Minnesota 1956
- CERRA, D., E. W. JOHNSON: Motor nerve conduction velocity in premature infants. Arch. phys. med. 43 (1962) 160
- CORBAT, F.: Über Messungen der Leitungsgeschwindigkeit am peripheren Nerven und deren Verwertung in der Klinik. Dtsch. Z. Nervenheilk. 182 (1961) 652
- DOBDELSTEIN, H., A. STRUPPLER: Die Nervenleitungsgeschwindigkeit als diagnostisches Kriterium bei peripheren neurologischen Störungen. Fortschr. Neurol. Psychiat. 31 (1963) 616
- EICHLER, W.: Über die Ableitung der Aktionspotentiale vom menschlichen Nerven in situ. Z. Biol. 98 (1937) 182
- HARVEY, A. M., R. L. MASLAND: A method for the study of neuro-muscular transmission in human subjects. Bull. Johns Hopkins Hosp. 68 (1941) 81
- HELMHOLTZ, H. von, N. BAHT: Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen. M.-Ber. Kgl.-preuß. Akad. Wissensch. (1867) 234
- HELMHOLTZ, H. von: Neue Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen. M.-Ber. Kgl.-preuß. Akad. Wissensch. (1870) 184

- HENRIKSEN, J.D.: Conduction velocity of motor nerves in normal subjects and patients with neuromuscular disorders. M.S. Thesis (Phys.Med.) Univ. of Minnesota 1956
- HODES, R., M.F. LARRABEE, W. GERMAN: The human electromyogram in response to nerve stimulation and the conduction velocity of motor axons. Arch. Neurol. Psychiat. (Chicago) 60 (1948) 340
- HOPF, H.C.: Untersuchungen über die Unterschiede in der Leitungsgeschwindigkeit motorischer Nervenfasern beim Menschen. Dtsch. Z. Nervenheilk. 183 (1962) 579
- HOPF, H.C.: Das Elektromyogramm bei Nervenreizung (Elektroneurogramm, ENG). Fortschr. Neurol. Psychiat. 31 (1963) 585
- HUDSON, C.H., R.S. DOW: Motor nerve conduction velocity determination. A neurodiagnostic aid. Neurology (Minneap.) 13 (1963) 982
- KAESER, H.E.: Nerve conduction velocity measurements. In: Vinken, P.J., G.W. Bruyn: Handbook of Clinical Neurology 7, 116-196. North-Holland Publ. Comp. Amsterdam 1970
- LÁHODA, F., A. ROSS, W. ISSEL: EMG-Fibel. Ein Leitfaden für die praktische Elektromyographie und Elektroneurographie. Barth, Frankfurt 1973
- MAGLADERY, J.W., D.B. McDUGAL jr.: Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. Identification of certain reflexes in the EMG and the conduction velocity of peripheral nerve fibres. Bull. Johns Hopkins Hosp. 86 (1950) 265

- McQUILLEN, M.P., F.J. GORIN: Serial ulnar nerve conduction velocity measurements in normal subjects. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 32 (1969) 144
- MERTON, P.A.: Interaction between muscle fibres in a twitch. *J. Physiol. (Lond.)* 121 (1954) 311
- MULDER, D.W., E.H. LAMBERT, J.A. BASTRON, R.G. SPRAGUE: The neuropathies associated with diabetes mellitus. *Neurology (Minneap.)* 11 (1961) 275
- NEUNDÖRFER, B., C. ADLER: Vergleichende elektroneurographische Untersuchungen mit Oberflächen- und Nadelelektroden. *Z. EEG-EMG* 3 (1972) 153
- POLONI, A.E., E. SALA: The conduction velocity of the ulnar and median nerves stimulated through a twinneedle electrode. *Electroencephal. Clin. Neurophysiol.* 1962, Suppl. 22, 17-19
- REDFORD, J.D.: Conduction time in the motor fibres which innervate proximal muscles in the extremities in normal persons and in patients with neuromuscular diseases. M.S. Thesis (Phys. Med.) Univ. of Minnesota 1958
- SIMPSON, J.A.: Electrical signs in the diagnosis of carpal tunnel and related syndromes. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 19 (1956) 275
- THOMAS, P.K.: Motor nerve conduction in the carpal tunnel syndrome. *Neurology (Minneap.)* 12 (1960) 1045
- THOMAS, P.K., T.A. SEARS, R.W. GILLIATT: The range of conduction velocity in normal motor nerve fibres to the small muscles of the hand and foot. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 22 (1959) 175

- WAGMAN, J.H.: Reflex time during growth considered in relation to internodal length and conduction velocity. J. Neurophysiol. 17 (1954) 66
- WAGMAN, J.H., H. LESSE: Maximum conduction velocities of motor fibres of ulnar nerve in human subjects of various ages and sizes. J. Neurophysiol. 15 (1952) 235
- VISSER, S.L.: A comparative study of various methods of determining the conduction velocity in peripheral motor nerves. Psychiat. Neurol. Neurochir. 67 (1964) 477

## ANHANG

Tabellen und Diagramme

TABELLE 1

| Vp        | Datum<br>(1975) | Zeit  | A. | G. | linker Arm |               |               |            |               |               |               |               | V1   |
|-----------|-----------------|-------|----|----|------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|
|           |                 |       |    |    | dE<br>(cm) | dL1<br>(msec) | dL2<br>(msec) | pE<br>(cm) | pL1<br>(msec) | pL2<br>(msec) | Lz1<br>(msec) | Lz2<br>(msec) |      |
| 1 K.F.    | 16.7.           | 17.30 | 27 | ♂  | 11,3       | 3,6           | 3,5           | 25,0       | 6,8           | 7,0           | 3,2           | 3,5           | 73,1 |
| 2 S.H.    | 18.7.           | 16.35 | 27 | ♂  | 12,0       | 3,3           | 3,6           | 25,5       | 7,3           | 7,4           | 4,0           | 3,8           | 63,7 |
| 3 G.F.    | 18.7.           | 17.05 | 26 | ♂  | 13,5       | 3,5           | 3,5           | 25,5       | 7,0           | 7,0           | 3,5           | 3,5           | 72,8 |
| 4 S.P.    | 22.7.           | 16.30 | 28 | ♂  | 11,5       | 4,6           | 4,4           | 23,5       | 8,4           | 8,5           | 3,8           | 4,1           | 61,8 |
| 5 R.H.    | 22.7.           | 17.00 | 23 | ♂  | 12,0       | 3,6           | 3,8           | 25,5       | 7,9           | 7,7           | 4,3           | 3,9           | 59,3 |
| 6 K.R.    | 22.7.           | 17.55 | 34 | ♀  | 11,5       | 3,5           | 3,9           | 22         | 6,9           | 6,9           | 3,4           | 3,0           | 64,7 |
| 7 I.G.    | 22.7.           | 18.10 | 50 | ♂  | 12,5       | 4,8           | 4,7           | 24,5       | 8,3           | 8,6           | 3,5           | 3,9           | 70,0 |
| 8 O.A.    | 22.7.           | 19.15 | 32 | ♀  | 10,5       | 3,5           | 3,8           | 23,5       | 7,7           | 7,6           | 4,4           | 3,8           | 53,4 |
| 9 G.M.    | 23.7.           | 16.25 | 28 | ♂  | 10,5       | 3,4           | 3,6           | 24,5       | 6,9           | 6,8           | 3,5           | 3,2           | 70,0 |
| 10 B.P.   | 23.7.           | 18.30 | 27 | ♂  | 12,5       | 3,9           | 3,6           | 24,5       | 8,2           | 7,8           | 4,3           | 4,2           | 57,0 |
| 11 D.U.   | 23.7.           | 19.10 | 27 | ♂  | 10,5       | 3,5           | 3,5           | 23         | 6,8           | 6,9           | 3,3           | 3,4           | 69,7 |
| 12 B.R.   | 23.7.           | 19.30 | 26 | ♂  | 12,0       | 4,2           | 4,3           | 26,5       | 8,0           | 8,1           | 3,8           | 3,8           | 63,7 |
| 13 G.W.   | 30.7.           | 17.45 | 26 | ♂  | 10,0       | 4,4           | 4,6           | 25         | 8,5           | 7,8           | 4,1           | 3,2           | 61,0 |
| 14 L.H.   | 30.7.           | 18.00 | 27 | ♂  | 10,0       | 3,6           | 3,5           | 25         | 7,2           | 7,0           | 3,6           | 3,5           | 69,4 |
| 15 A.H.   | 30.7.           | 18.50 | 31 | ♂  | 11,0       | 3,9           | 4,1           | 24         | 7,3           | 7,6           | 3,4           | 3,5           | 69,6 |
| 16 A.W.   | 30.7.           | 19.15 | 30 | ♀  | 10,5       | 3,4           | 3,4           | 23,5       | 7,4           | 7,6           | 4,0           | 4,2           | 58,8 |
| 17 L.H.F. | 1.8.            | 16.30 | 27 | ♂  | 11,5       | 4,4           | 4,3           | 28         | 8,4           | 8,2           | 4,0           | 3,9           | 70,0 |
| 18 R.A.   | 6.8.            | 9.30  | 35 | ♂  | 11,0       | 4,8           | 4,7           | 24,5       | 8,2           | 8,3           | 3,4           | 3,6           | 72,1 |
| 19 M.P.   | 6.8.            | 17.20 | 40 | ♂  | 12,0       | 4,2           | 4,5           | 23         | 7,8           | 7,6           | 3,6           | 3,1           | 63,0 |
| 20 V.C.   | 6.8.            | 18.00 | 29 | ♂  | 12,5       | 3,8           | 4,0           | 24         | 7,5           | 7,4           | 3,7           | 3,4           | 64,9 |
| 21 K.S.   | 6.8.            | 18.35 | 25 | ♂  | 11,5       | 3,5           | 3,7           | 22         | 7,2           | 7,6           | 3,7           | 3,9           | 59,5 |

Vp=Versuchsperson

A.=Alter

G.=Geschlecht

dE=Distanz zwischen distalem Reizpunkt und Ableitelektrode

pE=Distanz zwischen beiden Reizpunkten

dL1=distale Latenz bei der Erstuntersuchung

dL2=distale Latenz bei der Kontrolluntersuchung

pL1=proximale Latenz bei der Erstuntersuchung

pL2=proximale Latenz bei der Kontrolluntersuchung

TABELLE 1

| li.Arm  |           | rechter Arm |         |      | rechter arm |     |      |        |     |      |        |     |
|---------|-----------|-------------|---------|------|-------------|-----|------|--------|-----|------|--------|-----|
| V2      | $\bar{V}$ | $\bar{V}$   | V1      | V2   | Lz1         | Lz2 | dE   | dL1    | dL2 | pE   | pL1    | pL2 |
| (m/sec) |           |             | (m/sec) |      | (msec)      |     | (cm) | (msec) |     | (cm) | (msec) |     |
| 71,4    | 74,6      | 61,9        | 60,4    | 63,3 | 4,3         | 4,1 | 12,5 | 3,1    | 3,3 | 26   | 7,4    | 7,4 |
| 67,1    | 65,4      | 62,3        | 61,5    | 63,1 | 3,9         | 3,3 | 11,5 | 3,5    | 3,4 | 24   | 7,4    | 7,2 |
| 72,8    | 72,8      | 72,8        | 70,8    | 74,9 | 3,6         | 3,4 | 12,5 | 3,8    | 3,9 | 25,5 | 7,4    | 7,3 |
| 57,3    | 59,5      | 62,7        | 61,8    | 63,5 | 3,8         | 3,7 | 12,0 | 4,2    | 4,0 | 23,5 | 8,0    | 7,7 |
| 65,4    | 62,2      | 69,4        | 71,4    | 67,6 | 3,5         | 3,7 | 10,5 | 4,3    | 4,2 | 25   | 7,8    | 7,9 |
| 73,3    | 68,7      | 63,9        | 63,9    | -    | 3,6         | -   | 11,0 | 3,4    | -   | 23   | 7,0    | -   |
| 62,8    | 66,2      | 56,5        | 56,5    | 56,5 | 4,6         | 4,6 | 12,0 | 4,1    | 4,3 | 26   | 8,7    | 8,3 |
| 61,8    | 57,3      | 60,0        | 57,1    | 63,2 | 4,2         | 3,8 | 10,0 | 3,9    | 4,0 | 24   | 8,1    | 7,8 |
| 76,6    | 73,1      | 73,1        | 74,2    | 72,1 | 3,3         | 3,4 | 11,0 | 3,8    | 3,7 | 24,5 | 7,1    | 7,1 |
| 58,3    | 57,6      | 68,0        | 67,1    | 68,9 | 3,8         | 3,7 | 12,0 | 3,6    | 3,7 | 25,5 | 7,4    | 7,4 |
| 67,6    | 63,7      | 70,6        | 70,6    | 70,6 | 3,4         | 3,4 | 10,5 | 3,9    | 4,1 | 24   | 7,3    | 7,5 |
| 69,7    | 69,7      | 66,7        | 65,8    | 67,6 | 3,8         | 3,7 | 11,5 | 3,8    | 4,0 | 25   | 7,0    | 7,7 |
| 78,1    | 68,5      | 73,5        | 69,4    | 78,1 | 3,6         | 3,2 | 10,5 | 4,4    | 4,5 | 25   | 8,0    | 7,7 |
| 71,4    | 70,4      | 70,6        | 72,7    | 68,6 | 3,3         | 3,5 | 10,5 | 3,7    | 3,7 | 24   | 7,0    | 7,2 |
| 68,6    | 69,1      | 69,6        | 70,6    | 68,6 | 3,4         | 3,5 | 10,5 | 4,4    | 4,5 | 24   | 7,8    | 8,0 |
| 56,0    | 57,3      | 64,5        | 62,8    | 66,2 | 3,9         | 3,7 | 11,0 | 3,3    | 3,5 | 24,5 | 7,2    | 7,2 |
| 72,7    | 71,3      | 65,1        | 62,8    | 67,5 | 4,3         | 4,0 | 11,5 | 4,2    | 4,2 | 27   | 8,5    | 8,2 |
| 68,1    | 70,0      | 61,4        | 59,3    | 63,7 | 4,3         | 4,0 | 12,0 | 4,4    | 4,8 | 25,5 | 8,7    | 8,8 |
| 74,2    | 68,1      | 58,5        | 58,1    | 58,9 | 3,7         | 3,6 | 11,0 | 4,1    | 4,3 | 21,5 | 7,8    | 7,9 |
| 70,6    | 67,6      | 69,7        | 69,7    | 69,7 | 3,3         | 3,3 | 12,0 | 4,5    | 4,1 | 23   | 7,8    | 7,4 |
| 56,4    | 57,3      | 62,2        | 63,9    | 60,5 | 3,6         | 3,8 | 10,5 | 3,9    | 3,7 | 23   | 7,5    | 7,5 |

Lz1=pL1-dL1=Impulslaufzeit bei der Erstuntersuchung

Lz2=pL2-dL2=Impulslaufzeit bei der Kontrolluntersuchung

V1=Nervenleitgeschwindigkeit bei der Erstuntersuchung

V2=Nervenleitgeschwindigkeit bei der Kontrolluntersuchung

$\bar{V}$  =NLG-Mittelwert aus V1 und V2

TABELLE 2

Leitgeschwindigkeiten im distalen Abschnitt des n. ulnaris bei früheren Untersuchungen:

| Untersucher                   | Jahr | NLG in<br>m/sec | Variations-<br>breite     | Anzahl<br>der Vp |
|-------------------------------|------|-----------------|---------------------------|------------------|
| Hodes, Larrabee<br>und German | 1948 | 59              |                           |                  |
| Magladery, McDougal           | 1950 | 55              | (45-68)                   | 8                |
| Redford                       | 1958 | 59              | (47-80)                   | 17               |
| Thomas, Sears und<br>Gilliatt | 1959 | 56,0            | (49-65,6)<br>SD $\pm$ 4,7 | 46               |
| Mulder und Mitarb.            | 1961 | 59,9            | (45-75)                   | 255              |
| Corbat                        | 1961 | 52,3            | (37-70)                   | 50               |
| Hopf                          | 1962 | -               | (49-65)                   | 20               |
| McQuillen, Gorin              | 1969 | 57,5            | (45,5-63,6)               | 5                |
| Neundörfer, Adler             | 1972 | 54,6            | SD $\pm$ 6,036            | 25               |

TABELLE 3

Maximale Leitgeschwindigkeit in abhängigkeit vom  
Alter der Versuchspersonen (nach Wagman und Lesse  
1952)

| Alter in Jahren | Anzahl der Vp | NLG in m/sec |
|-----------------|---------------|--------------|
| 3,5- 10         | 8             | 61,5         |
| 10 - 20         | 8             | 57,1         |
| 20 - 30         | 35            | 58,4         |
| 30 - 40         | 7             | 57,4         |
| 40 - 50         | 2             | 56,8         |
| 50 - 60         | 3             | 49,1         |
| 60 - 70         | 10            | 51,3         |
| 70 - 82         | 10            | 51,3         |

TABELLE 4

Die Nlg wurde hier aus der distalen Latenzzeit berechnet: Im Schnitt errechnete sich aus 1msec distaler Latenz eine Impulslaufstrecke von 16,9 m. Die hier aufgeführten Ergebnisse sind das Produkt aus jeweiliger distaler Latenzzeit mal Impulslaufstrecke pro 1msec distaler Latenzzeit. Im Klammern die Differenzen zu den Einzelergebnissen aus Tab.1

| Vp | linker Arm  |             | rechter Arm |             |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
|    | Erstunters. | Kontrolle   | Erstunters. | Kontrolle   |
| 1  | 60,8(-17,3) | 59,2(-12,2) | 52,4(- 8,0) | 55,8(- 7,5) |
| 2  | 55,8(- 7,9) | 60,8(- 6,3) | 59,2(- 2,3) | 57,5(- 5,6) |
| 3  | 59,2(-13,6) | 59,2(-13,6) | 64,2(- 6,6) | 65,9(- 9,0) |
| 4  | 77,7(+15,9) | 74,4(+17,1) | 71,0(+ 9,2) | 67,6(+ 4,1) |
| 5  | 60,8(+ 1,5) | 64,2(- 1,2) | 72,7(+ 1,3) | 71,0(+ 3,4) |
| 6  | 59,2(- 5,5) | 65,9(- 7,4) | 57,5(- 6,4) |             |
| 7  | 81,1(+11,1) | 79,4(+16,6) | 69,3(+12,8) | 72,7(+16,2) |
| 8  | 59,2(+ 5,7) | 64,2(+ 2,4) | 65,9(+ 8,8) | 67,6(+ 4,4) |
| 9  | 57,5(-12,5) | 60,8(-15,8) | 64,2(-10,0) | 62,5(- 9,6) |
| 10 | 65,9(+ 8,9) | 60,8(+ 2,5) | 60,8(- 6,3) | 62,5(- 6,4) |
| 11 | 59,2(-10,5) | 59,2(- 8,4) | 65,9(- 4,7) | 69,3(- 1,3) |
| 12 | 71,0(+ 1,3) | 72,7(+ 3,0) | 64,2(- 1,6) | 67,6(± 0,0) |
| 13 | 74,4(+13,4) | 77,7(- 0,4) | 74,4(+ 5,0) | 75,2(- 2,9) |
| 14 | 60,8(- 8,6) | 59,2(-12,2) | 62,5(-10,2) | 62,5(- 6,1) |
| 15 | 65,1(- 4,5) | 69,3(+ 0,7) | 74,4(+ 3,8) | 76,1(+ 7,4) |
| 16 | 57,5(- 1,2) | 57,5(+ 1,5) | 55,3(- 7,0) | 59,2(- 7,0) |
| 17 | 74,4(+ 4,4) | 73,6(+ 0,9) | 71,0(+ 8,2) | 71,0(+ 3,5) |
| 18 | 81,1(+ 9,0) | 79,4(+11,3) | 74,4(+15,1) | 81,1(+17,3) |
| 19 | 70,1(+ 7,1) | 76,1(+ 1,8) | 69,3(+11,2) | 71,8(+12,9) |
| 20 | 64,2(- 0,7) | 67,6(- 3,0) | 76,1(+ 6,3) | 69,3(- 0,4) |
| 21 | 59,2(- 0,3) | 62,5(+4,6 ) | 65,9(+ 2,0) | 62,5(+ 2,0) |

TABELLE 5

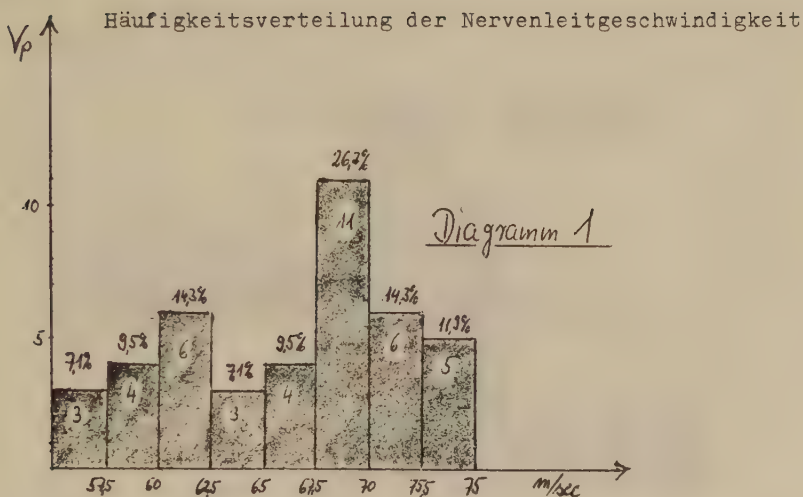
Hier wurde von den Durchschnittswerten der NLG (66,3 m/sec) und der distalen Latenz (3,9msec) ausgegangen. Alle Latenzzeiten, die kürzer sind, ergeben eine NLG, die pro 0,1msec Latenzunterschied zum Durchschnittswert um 1,6m/sec schneller als die durchschnittliche NLG von 66,3m/sec ist. Für längere Latenzzeiten gilt das Umgekehrte.

| Vp | linker Arm       |                  | rechter Arm |              |
|----|------------------|------------------|-------------|--------------|
|    | Erstunters.      | Kontrolle        | Erstunters. | Kontrolle    |
| 1  | 71,1(- 7,0)      | 72,8(+ 1,4)      | 79,5(+19,1) | 76,1(+12,8)  |
| 2  | 76,1(+12,4)      | 71,1(+ 4,0)      | 72,8(+11,3) | 74,5(+13,3)  |
| 3  | 72,8( $\pm$ 0,0) | 72,8( $\pm$ 0,0) | 67,7(- 3,1) | 66,0(- 8,9)  |
| 4  | 54,2(- 7,6)      | 57,6(+ 0,2)      | 60,9(- 0,9) | 64,3(+ 0,8)  |
| 5  | 71,1(+11,8)      | 67,7(+ 2,3)      | 59,2(-12,2) | 60,9(- 6,7)  |
| 6  | 72,8(+ 8,1)      | 66,0(- 7,3)      | 74,5(+10,5) |              |
| 7  | 50,8(-19,2)      | 52,5(-10,3)      | 62,6(+ 6,1) | 59,2(+ 2,7)  |
| 8  | 72,8(+19,4)      | 67,7(+ 5,9)      | 66,0(+ 8,9) | 64,3(+ 1,1)  |
| 9  | 74,5(+ 4,5)      | 71,1(- 5,5)      | 67,7(- 6,5) | 69,4(- 2,7)  |
| 10 | 66,0(+ 9,0)      | 71,1(+12,8)      | 71,1(+ 4,0) | 69,4(+ 0,5)  |
| 11 | 72,8(+ 3,1)      | 72,8(+ 5,2)      | 66,0(- 4,6) | 62,6(- 8,0)  |
| 12 | 60,9(- 8,8)      | 59,2(-10,5)      | 67,7(+1,9)  | 64,3 (- 3,3) |
| 13 | 57,6(- 3,4)      | 54,2(-13,9)      | 57,6(-11,8) | 56,7(-21,4)  |
| 14 | 71,1(+ 1,7)      | 72,8(+ 1,4)      | 69,4(- 3,4) | 69,4(+ 0,8)  |
| 15 | 66,9(- 2,7)      | 62,6(- 6,0)      | 57,6(-13,0) | 55,9(-12,7)  |
| 16 | 74,5(+15,7)      | 74,5(+18,4)      | 76,1(+13,3) | 72,8(+ 6,6)  |
| 17 | 57,6(-12,5)      | 58,8(-13,9)      | 60,3(- 1,9) | 60,9(- 6,6)  |
| 18 | 50,8(-21,3)      | 52,5(-15,6)      | 57,6(- 1,8) | 50,8(-12,9)  |
| 19 | 61,8(- 1,2)      | 55,9(-18,3)      | 62,6(+ 4,5) | 60,1(+ 1,2)  |
| 20 | 67,7(+ 2,8)      | 64,3(- 6,3)      | 55,9(-13,8) | 62,6(- 7,1)  |
| 21 | 72,8(+13,3)      | 69,4(+13,0)      | 66,0(+ 2,1) | 69,4(+ 8,9)  |

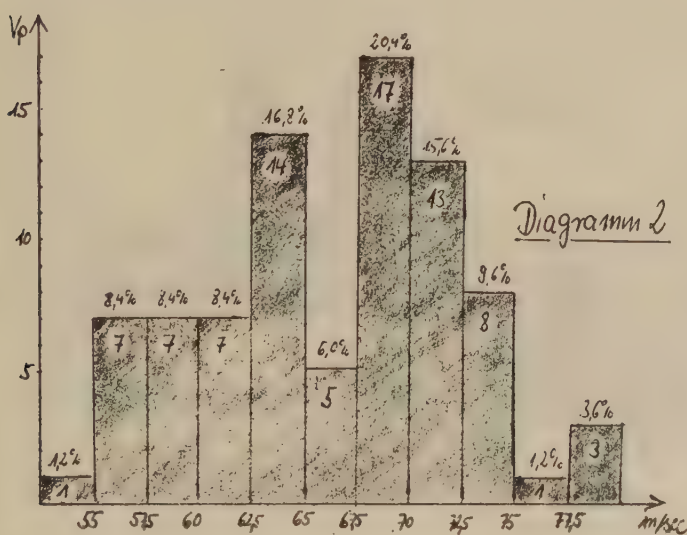
TABELLE 6

Terminale Überleitungszeit: Von der distalen Latenzzeit wurde die individuelle Impulslaufzeit abgezogen. In dem so errechneten Ergebnis sind die terminale Leitzeit, die neuromuskuläre Übertragungszeit und die Übertragung im Muskel selbst enthalten. Alle Werte in msec, in Klammern die jeweilige Laufzeit.

| Vp | linker Arm  |             | rechter Arm |             |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
|    | Erstunters. | Kontrolle   | Erstunters. | Kontrolle   |
| 1  | 2,15(1,446) | 1,92(1,582) | 1,03(2,075) | 1,33(1,975) |
| 2  | 1,42(1,884) | 1,81(1,788) | 1,59(1,909) | 1,58(1,817) |
| 3  | 1,65(1,850) | 1,65(1,850) | 2,04(1,763) | 2,23(1,675) |
| 4  | 2,74(1,863) | 2,39(2,013) | 2,26(1,944) | 2,12(1,844) |
| 5  | 1,57(2,028) | 1,96(1,836) | 2,83(1,470) | 2,65(1,554) |
| 6  | 1,72(1,778) | 2,33(1,569) | 1,68(1,722) |             |
| 7  | 3,01(1,786) | 2,71(1,990) | 1,98(2,124) | 2,18(2,124) |
| 8  | 1,54(1,964) | 2,10(1,701) | 2,15(1,750) | 2,42(1,580) |
| 9  | 1,90(1,502) | 2,22(1,376) | 2,32(1,485) | 2,17(1,529) |
| 10 | 1,71(2,188) | 1,45(2,150) | 1,81(1,788) | 1,96(1,740) |
| 11 | 2,00(1,502) | 1,95(1,554) | 2,41(1,491) | 2,61(1,491) |
| 12 | 2,48(1,716) | 2,58(1,716) | 2,05(1,748) | 2,30(1,702) |
| 13 | 2,76(1,640) | 3,32(1,280) | 2,89(1,512) | 3,10(1,344) |
| 14 | 2,16(1,440) | 2,10(1,400) | 2,25(1,449) | 2,16(1,544) |
| 15 | 2,27(1,584) | 2,39(1,606) | 2,91(1,491) | 2,97(1,533) |
| 16 | 1,62(1,785) | 1,52(1,880) | 1,55(1,743) | 1,84(1,661) |
| 17 | 2,76(1,645) | 2,76(1,587) | 2,37(1,829) | 2,50(1,702) |
| 18 | 3,27(1,529) | 3,08(1,617) | 2,37(2,028) | 2,92(1,884) |
| 19 | 2,24(1,908) | 2,88(1,620) | 2,21(1,892) | 2,38(1,870) |
| 20 | 1,88(1,925) | 2,23(1,775) | 2,88(1,716) | 2,38(1,716) |
| 21 | 1,57(1,932) | 1,66(2,036) | 2,26(1,634) | 1,97(1,733) |

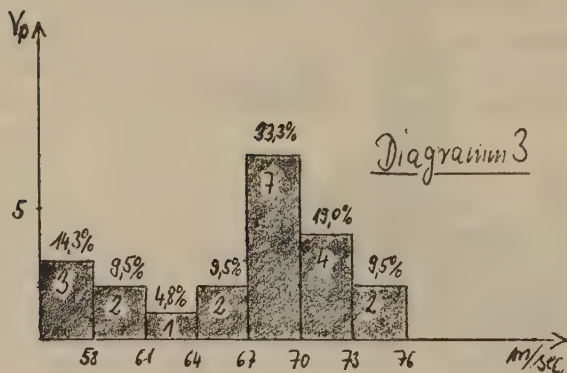


Geschwindigkeitsverteilung bei auftragung aller Mittelwerte

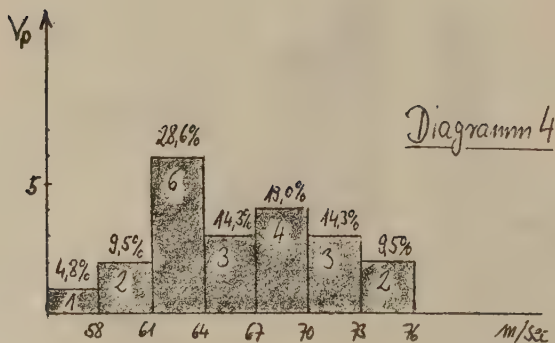


Geschwindigkeitsverteilung bei auftragung  
sämtlicher Einzelwerte

# Seitenvergleich der Mittelwerte

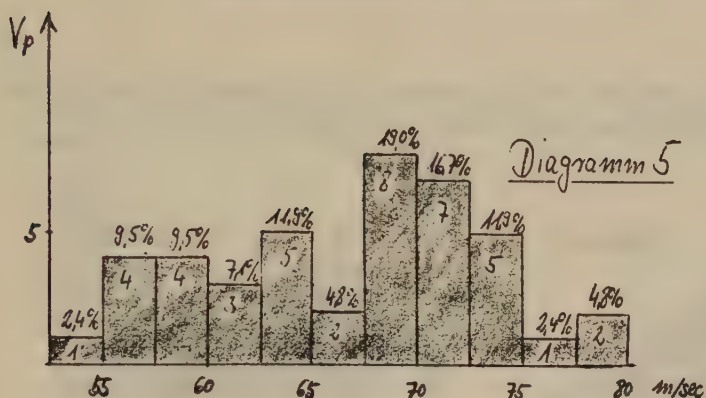


Geschwindigkeitsverteilung linker Arm

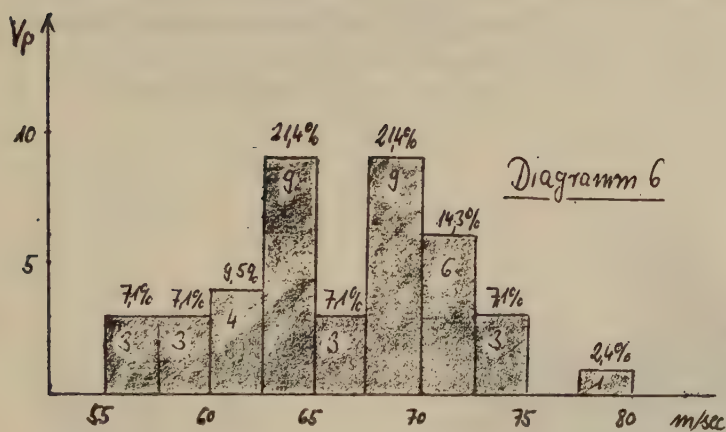


Geschwindigkeitsverteilung rechter Arm

# Seitenvergleich der Einzelwerte

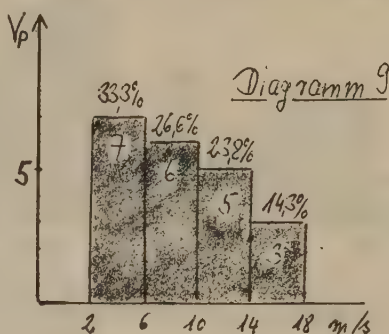
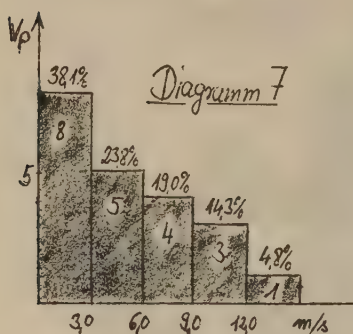


Geschwindigkeitsverteilung linker arm



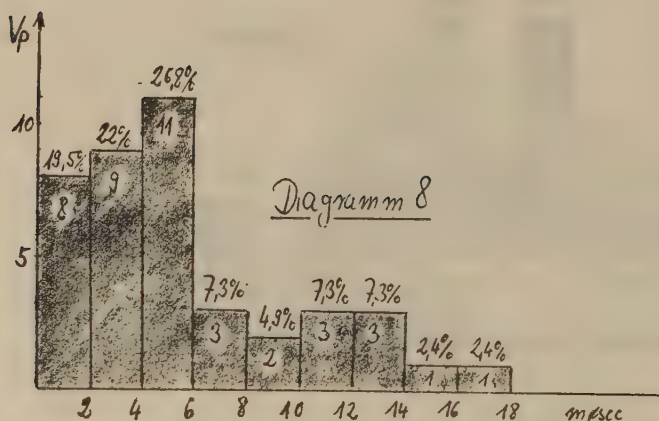
Geschwindigkeitsverteilung rechter Arm

Bei den einzelnen Versuchspersonen auftretende Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen linkem und rechtem n. ulnaris



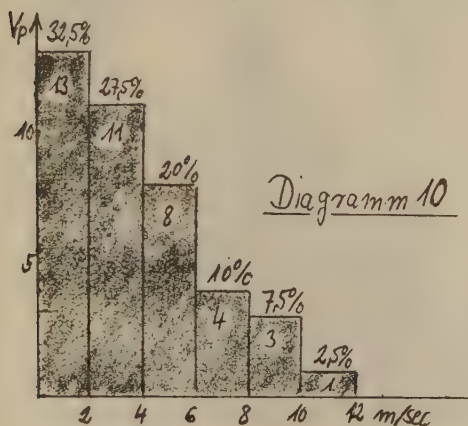
Differenzen der Mittelwerte

Maximale Geschwindigkeitsdifferenzen  
(schnellster-langsamster Wert bei  
der gleichen Versuchsperson)

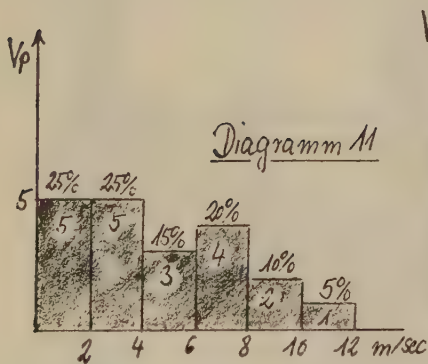


Differenzen der Erstuntersuchungen links-rechts und  
Differenzen der Kontrolluntersuchungen links-rechts

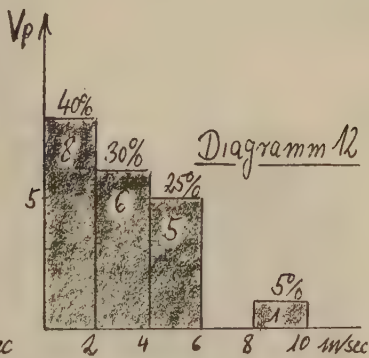
Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Erst- und Kontroll-  
untersuchung am gleichen Arm



Sämtliche Werte



linker Arm



rechter Arm

Differenz der Latenzzeiten zwischen Erst- und Kontroll-  
untersuchung des gleichen Armes

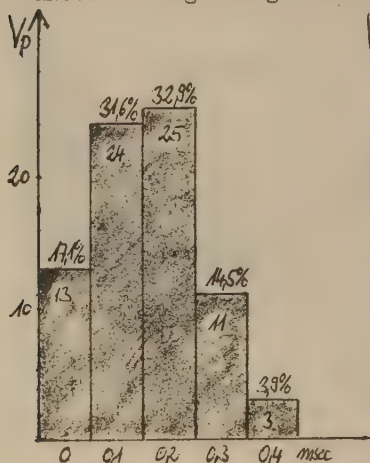


Diagramm 13

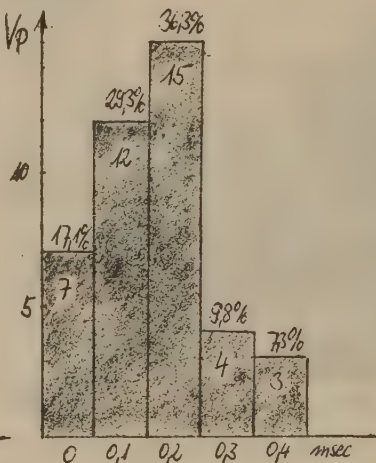
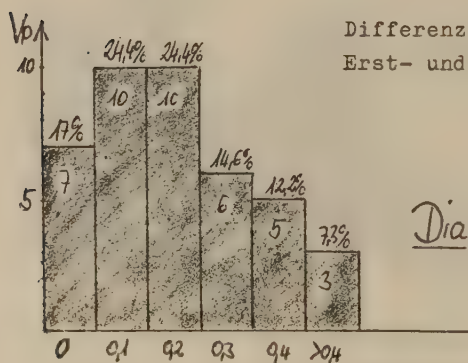


Diagramm 15

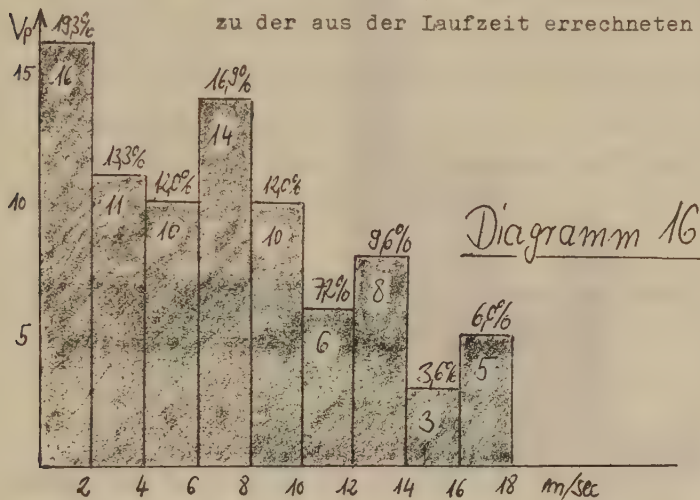
distale und proximale Latenz- nur distale Latenzdifferenzen  
differenzen



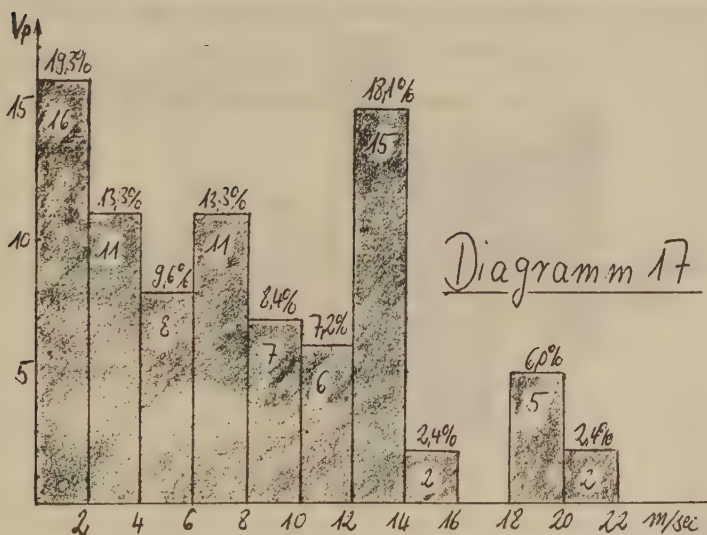
Differenzen der Laufzeiten zw.  
Erst- und Kontrolluntersuchung

Diagramm 14

Differenz der aus der distalen Latenz errechneten NLG  
zu der aus der Laufzeit errechneten NLG

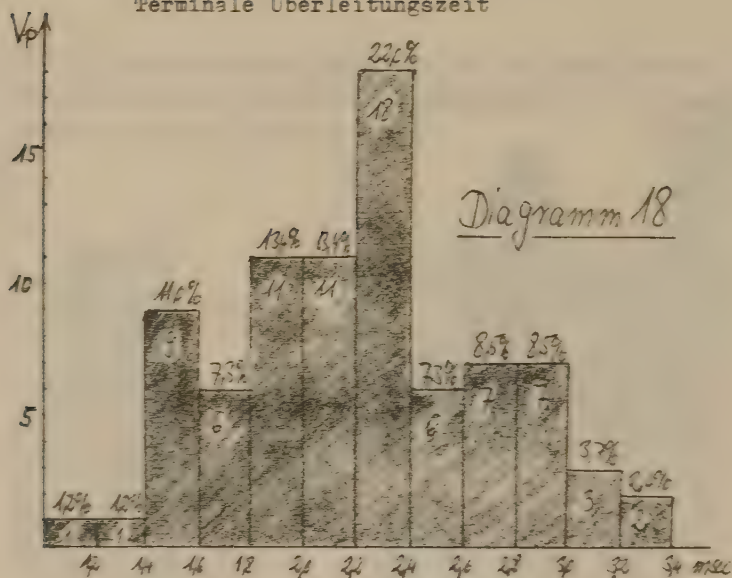


Differenz der nach Tabelle 4 berechneten Werte

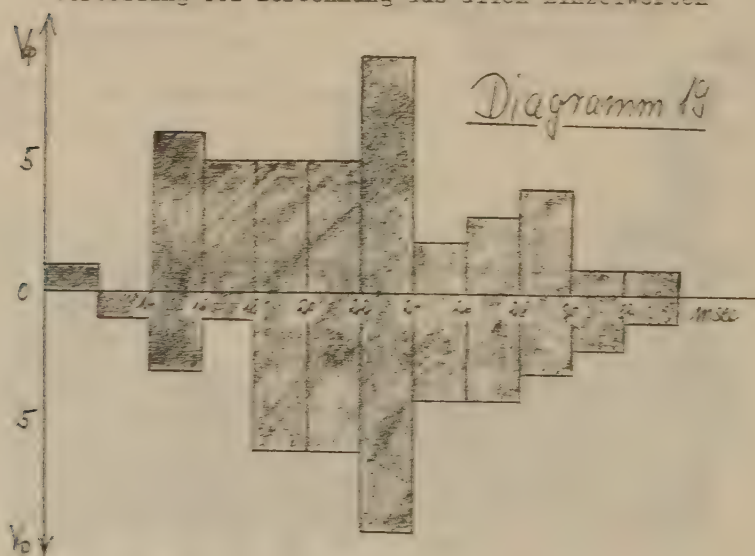


Differenz der nach Tabelle 5 errechneten Werte

# Terminale Überleitungszeit



Verteilung bei Berechnung aus allen Einzelwerten



Seitenvergleich linker Arm (oben)  
rechter Arm (unten.)

Für die Überlassung des Themas und des Arbeitsplatzes möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Schrader bedanken.

Für die geduldige Beratung in technischen und fachlichen Fragen gebührt Herrn OA Dr. Ross mein besonderer Dank.

Meinen Geschwistern und Schwägern und allen meinen Freunden, die sich als Versuchspersonen zur Verfügung gestellt haben, sei an dieser Stelle gedankt.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Schwester, Frau Chr. Rückerl, meinen Dank dafür aussprechen, daß sie mir bei der Bewältigung der englischen Literatur und bei der schriftlichen Anfertigung der Arbeit hilfreich zur Seite gestanden hat.



## LEBENS LAUF

Am 28. Dezember 1947 wurde ich als Sohn des Bankdirektors Ernst Lodermeier und seiner Ehefrau, der prakt. Ärztin Dr. Marianne Lodermeier, geb. Resch in München geboren.

Vom September 1954 bis Juli 1958 besuchte ich die Volksschule an der Südlichen Auffahrtsallee in München. Im September 1958 trat ich in das humanistische Gymnasium bei St. Stephan in Augsburg ein, das ich bis Juli 1964 besuchte. Im September dieses Jahres wechselte ich nach München an das Wittelsbacher Gymnasium als Schüler des altsprachlichen Zweiges, das ich im Juli 1968 nach bestandener Reifeprüfung verließ.

Vom Oktober 1968 bis März 1970 leistete ich meinen Grundwehrdienst bei der Luftwaffe ab. Nach der Entlassung von der Bundeswehr studierte ich im Sommersemester 1970 an der Universität in München Chemie. Danach bemühte ich mich um die Zulassung zum Medizinstudium, das ich im Wintersemester 1970/71 an der Ludwig Maximilians-Universität beginnen konnte, und wo ich im Herbst 1971 die naturwissenschaftliche Vorprüfung und im Frühjahr 1973 die ärztliche Vorprüfung ablegte. Nach 7 klinischen Semestern trat ich zur ärztlichen Prüfung an, die ich im Dezember 1976 erfolgreich abschließen konnte.













